

A close-up photograph of a hand holding a ripe yellow corn cob. The corn is partially husked, showing the bright yellow kernels. The background is a blurred field of dry corn stalks under a clear blue sky.

Van fossiel naar biomassa

Biograndstoffen

BIO-WETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ KWARTAAL 1 2010 € 6,-

Biograndstoffen

Het cahier is een uitgave van Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij (BWM) en verschijnt vier maal per jaar. Elk nummer is geheel gewijd aan een thema uit de levenswetenschappen, speciaal met het oog op de maatschappelijke gevolgen ervan.

Stichting BWM is ondergebracht bij de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

BESTUUR

Prof. dr. E. Schrotten (voorzitter),
J.F.B.C.D. van Oranje M.Sc. MBA (vicevoorzitter),
dr. J.J.E. van Everdingen (penningmeester),
dr. A. van der Auweraert,
prof. dr. P.R. Bär,
prof. dr. J.M. van den Broek,
prof. dr. J.P.M. Geraedts,
prof. dr. J.A. Knottnerus,
prof. dr. N.M. van Straalen

REDACTIE

Prof. dr. Johan Sanders,
prof. dr. ir. Erik Heeres,
Friso van Oranje M.Sc. MBA,
Maarten Evenblij (eindredacteur)

BUREAU

drs. Saskia van Driel

BEELDREDACTIE

B en U
International
Picture Service,
Diemen
Jos van den Broek,
infographics

VORMGEVING

Studio Bassa,
Culemborg

DRUK

Groen Media Services,
Leiderdorp

INFORMATIE EN

BESTELLINGEN LOSSE NUMMERS

Stichting Bio-
Wetenschappen
en Maatschappij
Postbus 93402
2509 AK Den Haag
telefoon: 070-34 40 781
e-mail: bwm@nwo.nl
www.biomaatschappij.nl

ABONNEMENTEN

Betapress
Abonnementen Services
Postbus 97
5126 ZH Gilze
telefoon: 0161 - 45 94 67
e-mail:
cahier@betapress.audax.nl

© Stichting BWM
ISBN/EAN 978-90-73196-57-5

Stichting BWM heeft zich ingespannen om alle rechthebbenden van de illustraties in deze uitgave te achterhalen. Mocht u desondanks menen rechten te kunnen laten gelden, dan verzoeken wij u vriendelijk om contact met ons op te nemen.

BWM cahiers
worden gedrukt op
FSC-gecertificeerd
papier.



**Bio-Wetenschappen
en Maatschappij**

Inhoud

Voorwoord 2

1 Van oud fossiel naar nieuw fossiel 5

Aardolie en steenkool worden suikerriet en olifantsgras 5

2 Bronnen van bigrondstoffen 13

Nieuwe generaties staan te trappelen 13

Geschikte gewassen: vertrouwde en nieuwe gezichten 16

3 De noodzaak van biomassa 29

Beschikbaarheid: veel blijft onbenut 29

Geen succes zonder goed beleid 34

4 Opwerkingstechnieken verrijken biomassa 43

Pyrolyse en torrefactie: indikken voor transport 43

Fermentatie: micro-organismen doen het werk 47

Slim gebruik biomassa: op zoek naar goud 49

5 Niet louter rozengeur en maneschijn 59

Voedsel als brandstof en brandhaard 59

Mensenrechten en milieu-effecten 64

Broeikasgas en energiewinst 68

6 Transitie van fossiel naar bio 75

Overtuigen, verleiden en een beetje dwang 75

Begrippenlijst 84

Geraadpleegde deskundigen 85

Meer informatie 87

Illustratieverantwoording 88

Voorwoord

DE ZON verschaft ons een overvloed aan energie. Het *direct opvangen* daarvan, zoals door zonnecellen en zonnecollectoren, en het *afgeleid opvangen*, zoals via windmolens, wordt met steeds grotere efficiëntie gerealiseerd. De opslag van die opgevangen zonne-energie blijft echter een moeilijk te overkomen probleem. Batterijen, waterbassins en waterstofcellen bijvoorbeeld, zijn nog verre van ideaal. Er zijn vaak hoge investeringen mee

gemoeid en ze gaan dikwijls gepaard met veel verlies aan rendement.

Een oplossing kan duurzame biomassa zijn. Biomassa is in grote hoeveelheden beschikbaar op aarde, in de vorm van bijvoorbeeld landbouwgewassen (en dan in het bijzonder de delen die niet voor voeding worden gebruikt), grassen, struiken, bomen en algen. Bovendien combineert biomassa de opvang en opwerking van zonne-energie met de opslag ervan.

Het loof van suikerriet, hier op een plantage in Brazilië, kan gebruikt worden als biograndstof.



Als bijkomend groot voordeel bindt biomassa ook grote hoeveelheden van het broeikasgas CO₂ uit de lucht en worden *natuurlijke reststoffen*, zoals mest, omgezet in groene verbindingen. We kunnen biomassa dan ook wellicht het beste aanduiden als *jong fossiel*. Dit als tegenhanger van *oud fossiel*, de gedurende miljoenen jaren in de bodem tot steenkool, aardolie en aardgas omgezette resten van planten. In feite is biomassa de natuurlijke vervanging van de oude fossiele grondstoffen die opraken en bovendien bij hun verbranding extra CO₂ vrijmaken en steeds vaker deel uit maken van geopolitieke problemen.

Dat het duurzaamheidsaspect bij biomassa met extra zorgvuldigheid moet worden behandeld spreekt voor zich. Geen weldenkend mens wil de productie ervan ten koste laten gaan van de productie van voedsel of van de biodiversiteit op aarde. Als we gebruik maken van de restproducten van de agro-industrie – vooral waar deze als afval worden afgevoerd of verbrand – of van restproducten uit bossen en natuurgebieden – vooral waar deze *wegrotten* – snijdt het mes aan beide kanten!

Een extra voordeel van biomassa ten opzichte van het gebruik van de oud fossiele stromen ligt in de extra functies die met biomassa kunnen worden benut doordat ze voor meer gebruikt kunnen worden dan louter brandstof. En daarmee leveren ze extra waarde op. Dat geeft in het bijzonder een land als Nederland de mogelijkheid om haar kennis op het gebied van de landbouw en agro-industrie, de chemie, de logistiek en de keten-efficiëntie tot waarde te maken. Ook ten gunste van de vele ontwikkelingslanden die niet

over oud fossiel beschikken, maar wel duurzaam jong fossiel kunnen leveren.

Biomassa: a *convenient answer* op een *Inconvenient Truth* en de moeite meer dan waard om serieus genomen te worden.

Ir. Paul Hamm

Voorzitter Platform Groene Grondstoffen van 2004-2009 en lid van de interdepartementale *High Level Stuurgroep Bio Based Economy*



Biomassa zal – zeker op korte termijn – een bijdrage gaan leveren aan de wereld-energievoorziening. Over de grootte daarvan is nog discussie.

Van oud fossiel naar nieuw fossiel

Windenergie is één van de bekendste nieuwe energiebronnen

OLIE, KOLEN en gas staan al anderhalve eeuw centraal in de wereldeconomie. Nu de voorraden uitgeput raken en de fossiele brandstoffen sterk bijdragen aan het broeikaseffect, wordt het tijd voor duurzame alternatieven. Een economie die is gebaseerd op het gebruik van biomassa biedt daarvoor een mogelijkheid. Vliegtuigkerosine uit huttentut of jatropha, autobrandstof uit bietenloof of olifantsgras en plastics uit aardappelen en wilgentenen vormen de toekomst. De eerste aanzetten voor zo'n *biobased economy* zijn er al, een volledige omschakeling vereist echter nog de nodige massages en experimenten. Want zo'n groene economie moet immers ook duurzaam zijn.

Aardolie en steenkool worden suikerriet en olifantsgras

De wereld is verre van duurzaam. In elk geval niet wat zijn energievoorziening en voedselvoorziening betreffen. Dat weten we inmiddels wel. Er zijn veel dikke rapporten geschreven over de negatieve gevolgen die de menselijke activiteiten hebben op de aardse systemen. Sinds ruim een eeuw zijn de grote economieën voor het grootste deel gebaseerd

op het gebruik van fossiele grondstoffen, zoals olie, kolen en gas. Die fossiele grondstoffen zijn ontstaan door een langdurig proces van omzetting van bomen, planten en andere organismen in de bodem. Maar die fossiele grondstoffen zijn eindig. Wat gedurende vele miljoenen jaren is ontstaan, is niet genoeg voor slechts twee eeuwen aan energie die de wereldbevolking nu nodig heeft.

Bovendien zal de behoefte aan energie de komende decennia toenemen. Sinds de tweede wereldoorlog is de consumptie van energie wereldwijd ruim zes keer zo groot geworden. Gemiddeld gebruikt elke levende ziel op aarde nu meer dan twee keer zoveel energie als zestig jaar geleden. Daarbij consumeert een inwoner van de Verenigde Staten gemiddeld ruim tien keer meer energie dan iemand in China. De behoefte aan energie zal de komende twintig jaar waarschijnlijk nog eens met vijftig procent toenemen. Want de wereldbevolking groeit – naar 7,5 miljard mensen in 2030 tot waarschijnlijk een maximum van zo'n 9 miljard in 2050. Bovendien zal in die tijd de levensstandaard in minder ontwikkelde landen toenemen en daarmee ook de energiebehoefte. Geschat wordt dat in 2030 China en India bijna een derde van het wereldenergiegebruik voor hun rekening zullen nemen, nu is dat 20 procent.

Broeikas en brandhaard

Daarnaast heeft de consumptie van fossiele grondstoffen invloed op het klimaat. In honderden miljoenen jaren is veel koolstof uit planten vastgelegd in steenkool, olie en gas. Bij het verbranden daarvan komt kooldioxide (CO_2) vrij in de atmosfeer.

Fossiele brandstoffen zijn vooral te vinden in politiek instabiele gebieden

CO_2 is, naast methaan (CH_4) en stikstofoxide (N_2O), een broeikasgas. Meer broeikasgas in de atmosfeer bewerkstelligt dat de warmte-isolerende werking van de dampkring toeneemt,

waardoor de aarde minder warmte de ruimte in straalt. Daardoor stijgt de temperatuur op aarde en verandert het klimaat – sommige gebieden op aarde zullen droger worden andere natter en het

weer wordt extremer. Ook stijgt de zeespiegel. Meer honger, overstromingen, grote volksverhuizingen en misschien oorlogen liggen daardoor in het verschiet. Ook al zijn er klimaatsceptici die denken dat het allemaal niet zo'n vaart zal lopen, het grootste deel van de deskundigen is het erover eens dat de opwarming van de aarde door de invloed van de mens het meest waarschijnlijke scenario is. Hoe een mogelijke ramp vanwege die grote CO_2 -uitstoot in de atmosfeer zou kunnen worden voorkomen, staat op dit moment dan ook hoog op de agenda van de internationale politieke discussies. Het centrale thema daarbij is minder gebruik maken van fossiele brandstoffen en meer aandacht voor energiebesparing en alternatieve bronnen van energie, zoals zonnecellen, windmolens, waterkracht en biomassa.

Daarbij komt dat veel bronnen van fossiele

Dertien voetbalvelden met zonnebloemen

De wereld van de mondiale energie werkt met grote getallen. De eenheid van energie is joule (symbool J, vernoemd naar James

Prescott Joule). Een joule is ongeveer evenveel energie als vrijkomt als een kleine appel van 100 gram vanaf één meter uit een boom valt. Het

wereldenergiegebruik wordt uitgedrukt in PJ, petajoule, een één met 15 nullen en EJ, exajoule, een één met 18 nullen. Tera-, giga- en megajoules hebben respectievelijk 12, 9 en 6 nullen. De voedingswaarde van levensmiddelen wordt uitgedrukt in kilojoules (3 nullen) en elektrische energie meestal in kilowattuur (kWh), dat gelijk staat aan 3,6 megajoule. Een droge volkoren boterham levert ruim 200 kilojoule aan

energie. De warmte die iemand in rust uitstraalt, is 360 kilojoule per uur. De elektriciteitsproductie van Togo is ongeveer 2 petajoule, de helft van de energie die vrijkomt bij de explosie van een megaton TNT en bijna eenduizendste van de elektriciteitsproductie van de Verenigde Staten. Een inwoner van Nederland gebruikt jaarlijks gemiddeld 210 gigajoule, een inwoner van China 25 GJ, die van de Verenigde Staten ruim

300 GJ en de gemiddelde wereldbewoner 59 GJ. Voor het jaarlijkse energiegebruik van de gemiddelde aardling zijn bijna vier voetbalvelden zonnebloemen (olie) nodig of één voetbalveld suikerriet (ethanol). Een Nederlander zou daarvoor 13 voetbalvelden zonnebloemen of 3,5 voetbalvelden suikerriet nodig hebben.

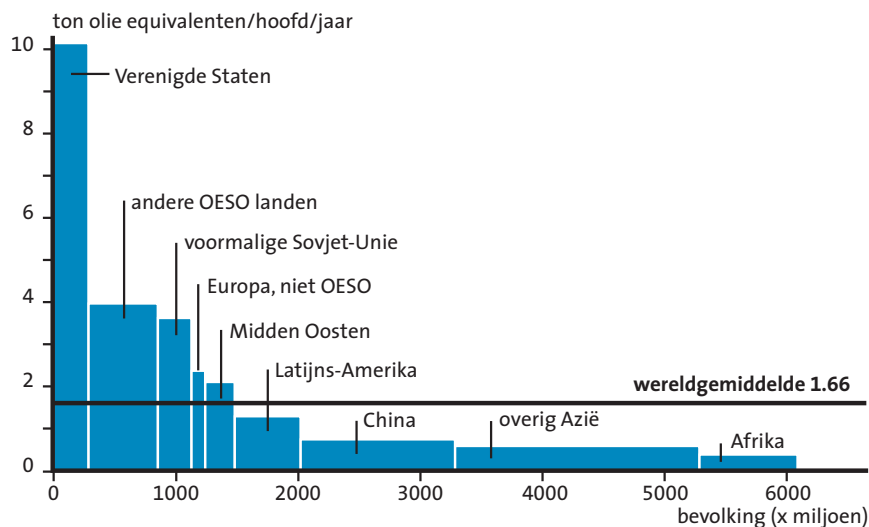


brandstoffen zijn geconcentreerd in gebieden die politiek instabiel zijn. Dat geldt vooral voor aardolie. Het Midden-Oosten is daarvan het bekendste voorbeeld, zestig procent van de wereldvoorraad olie ligt daar. Saoedi-Arabië heeft de grootste voorraden, gevolgd door Iran, Irak, Koeweit en de Verenigde Arabische Emiraten. In die regio zijn Iran en Irak politiek gezien, uiterst onzekere factoren. Andere grote voorraden liggen in Eurazië (de Noordzee en Rusland), Nigeria, Venezuela en voor de kust van Brazilië. Ook Noord-Amerika en Azië hebben olie, maar hun voorraden zijn beperkt. Niet alleen uit politieke overwegingen is het goed als de wereld minder afhankelijk is van de olie uit een handvol regio's, er is ook nog de prijs van olie. De olieproducerende landen maken afspraken over hoeveel olie zij op de markt brengen en omdat zo de vraag naar olie het aanbod overstijgt, blijft de prijs van een vat olie relatief hoog. Naarmate olie schaarser wordt, zullen de prijzen stijgen. Het vinden van alternatieve energiebronnen of alternatieve bronnen van fossiele brandstof (zoals – wel duurdere – olie uit teerzanden en olieschalies) heeft daarom prioriteit.

People, Planet, Profit

Het is duidelijk dat er in het huidige tijdperk veel aandacht is voor duurzaamheid. Het begrip duurzaamheid wordt te pas en te onpas gebruikt en verwijst naar het begrip *sustainable development* van de VN-commissie Brundtland uit 1987. Een duurzame ontwikkeling, zo stelde de Noorse ex-premier Gro Harlem Brundtland, sluit aan op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen. Dat betekent dat de activiteiten van huidige generaties ook moeten voorkomen dat hulpbronnen uitgeput raken, het milieu vervuult raakt en planten en dieren op grote schaal verdwijnen. Het opmaken van fossiele brandstoffen bijvoorbeeld, is dus niet duurzaam.

Wereldenergiegebruik



↑
Wereldenergiegebruik per hoofd van de bevolking.

Bron: International Energy Outlook, 2001



←
Door de groei van de wereldbevolking zal het energiegebruik de komende twintig jaar met vijftig procent toenemen

Inmiddels is het begrip duurzaam uitgebreid met sociaal-economische aspecten. Een duurzame ontwikkeling buit geen mensen uit, ondersteunt hun (lokale) bronnen van leven, gezondheid en ontwikkeling en voorkomt het verstoren van de (lokale) economie. Dat betekent echter niet dat duurzame activiteiten van bijvoorbeeld een bedrijf geen winst mogen opleveren. Sterker, economisch rendement en financiële winst vormen een belangrijke drijfveer voor het ondernemen van activiteiten van mensen en voor hun ontwikkeling. Daarom wordt tegenwoordig vaak het begrip *triple P* (PPP, *People, Planet, Profit*) gebruikt als maat voor duurzame economische activiteiten. Een ontwikkeling is duurzaam als deze niet ten koste gaat van mens en milieu – het liefst zelfs de omstandigheden van mensen en milieu verbetert – en toch economisch voordeel oplevert. Het maken van winst is dus niet verkeerd, maar moet wel gepaard gaan met een verbetering van de (leef)omstandigheden van mensen en van de toestand van natuur en milieu.

Brandstof en materialen

Eén van de alternatieven voor het gebruik van steenkool, aardolie en gas is biomassa. Over de inzet van biomassa als bron voor brandstoffen en andere grondstoffen gaat dit cahier Biograndstoffen. Biomassa, een hernieuwbare bron van energie en materialen, is biologisch materiaal dat afkomstig is van levende of recent gestorven organismen. Biomassa kan bestaan uit geteelde bomen (wilgen, eucalyptusbomen), heesters (jatrophastruiken), granen (tarwe, maïs, rijst), oliegewassen (koolzaad, soja, oliepalm), grassen (switchgrass, olifantsgras) en knol- en wortelgewassen (suikerbieten, aardappelen, cassave). Ook gekweekte algen en wieren of organisch afval van huishoudens, uit de bos- en landbouw of uit de agro-industrie, zijn biomassa. Het is interessant dat gemiddeld slechts de helft van de biomassa die

op een veld groeit uiteindelijk als geoogst product verder wordt verwerkt. Beduidend minder dan de helft van de door de zon geproduceerde geteelde biomassa wordt nu benut.

De beschikbare biomassa kan direct worden verstoekt voor de productie van warmte en elektriciteit of zij kan worden omgezet tot biobrandstoffen, zoals bio-ethanol, biodiesel en biogas, die geschikt zijn voor transport, verwarming en de opwekking van elektriciteit. Biomassa kan ook dienen als uitgangspunt voor materialen die nu uit aardolie en andere fossiele grondstoffen worden gemaakt, zoals plastics en bouwstenen voor uiteenlopende chemische stoffen en medicijnen.

Dit cahier brengt de huidige stand van de wetenschap, techniek en praktijk van het gebruik van biomassa voor (transport)brandstoffen en andere producten in beeld. Daarbij ligt de nadruk op de biobrandstoffen omdat op dit terrein de techniek, het beleid en de praktijk het verst zijn gevorderd. Er zijn al grote plantages van suikerriet, raapzaad en oliepalmen in bedrijf en er zijn overheidsdoelstellingen geformuleerd om fossiele brandstoffen te vervangen door biobrandstoffen. Binnen de industrie kent de chemie een traditie van het gebruik van bijvoorbeeld plantaardige olie en zetmeel. Tien procent van de gebruikte grondstoffen in de chemie komt nu al uit hernieuwbare biolo-

→
In de Verenigde Staten
wordt ethanol gebruikt als
brandstof voor auto's





Ethanolfabriek in South
Dakota, Verenigde Staten

Tien procent van de chemische grondstoffen komt al uit hernieuwbare bronnen

gische bronnen en er zijn interessante aanzetten en experimenten voor nieuwe toepassingen. De technieken voor de verwerking van biograndstoffen zijn in de praktijk minder ver dan die voor biobrandstoffen. De verwachting is dat een slim gebruik van biomassa de (economische) kansen ervan als vervanger van fossiele grondstoffen aanzienlijk zal vergroten. Voorwaarde is dat uit de biomassa tegelijkertijd zowel brandstoffen als moleculen voor andere producten worden gemaakt, zoals voor het vervaardigen van biomaterialen en voedingscomponenten (zoals eiwitten). De zogeheten *bioraffinage*, waarbij biomassa in diverse fracties uiteen wordt gerafeld, speelt daarbij een essentiële rol.

Kansen en gevaren

Dit cahier Biograndstoffen geeft ook de discussie weer over de kansen en gevaren van het toepassen van biomassa voor brandstoffen en producten. Want het grootschalige gebruik van biomassa voor

transport, elektriciteit en industrie is ook omstredden. Zou tien procent van de totale energiebehoefte ter wereld, of een kwart van alle gebruikte aardolie, worden vervangen via biomassa uit extra teelt, dan zijn daar gigantische arealen grond mee gemoeid. In het gunstigste geval zou 17 procent van al het beschikbare bouwland op aarde (2,5 miljard hectare) moeten worden vol gezet met suikerriet. In het ongunstigste geval (soja) zou dat zelfs veel meer dan het beschikbare areaal zijn. En daarbij gaat het dan om slechts een kwart van het huidige het totale oliegebruik! Overigens gaat het in deze berekeningen om de gemakkelijk winbare biobrandstoffen, terwijl nieuwe technieken meer energie en bruikbare grondstoffen uit (resten van) gewassen weten te halen.

Een zo grootschalige teelt van voedingsgewassen voor biobrandstof betekent potentieel een enorme concurrentie met voeding. Ook kan er plaatselijk tekort aan water door ontstaan en misschien moet er wel bos voor worden gekapt. Om maar niet te spreken van de grote verstoring van de (lokale) economie die de grootschalige introductie van deze gewassen en de handel in biograndstoffen zullen veroorzaken. Daarvan zullen vooral de arme bevolkingsgroepen de dupe zijn. Niet doen dus, menen critici, want dat is niet duurzaam. En er zijn betere alternatieven, zoals de rechtstreekse winning van energie uit zon, wind en water. Maar er zijn ook pleitbezorgers die biomassa juist als een enorme kans zien. Bijvoorbeeld om van die vermaledijde olie, kolen en het gas af te komen, iets aan de CO₂-uitstoot te doen en om arme landen juist de kans te bieden hun gratis zonne-energie om te zetten in een economisch interessant product.

Een volledige vervanging van de op fossiele grondstoffen gebaseerde economie door een economie op basis van biomassa, ziet niemand als een optie. Biomassa zal echter – zeker op korte termijn – wel een bijdrage gaan leveren aan

**Benodigde hoeveelheid
landbouwgrond om 25%
van huidig oliebruik te
vervangen.**

Bron: Louise O. Fresco, Willem F.
Duisenberg-lezing 2006, Biomass for
food or fuel: Is there a dilemma?

	opbrengst (liter/ha)	opbrengst (GJ/ha)	miljard hectare	% van landbouwgrond
gerst	1100	19,8	2,27	91
tarwe	2500	45	1,00	40
mais	3000	54	0,83	33
suikerbiet	5000	90	0,50	20
suikerriet	5800	104,4	0,43	17
soja	500	9	5,00	200
zonnebloem	900	16,2	2,78	111
raapzaad	1100	19,8	2,27	91
jatropha	1800	32,4	1,39	56
oliepalm	4500	81	0,56	22

de wereldenergievoorziening. Over de grootte daarvan is nog discussie. Deskundigen denken dat de toekomst, vooral ook vanwege de eisen van duurzaamheid en een ongewenste concurrentie met voeding, ligt in een *bioraffinage* in verschil-

lende fracties van de biomassa van voornamelijk restproducten. Afzonderlijke onderdelen uit dat raffinageproces kunnen worden gebruikt als voedsel en voedingsmiddelen, als veevoer en kunstmest en als transportbrandstoffen. Maar

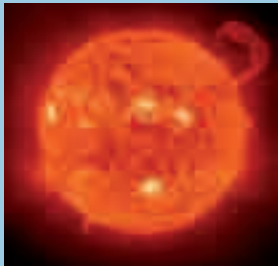
Eindeloos veel energie beschikbaar

De zon levert jaarlijks 5 miljoen exajoule (een 5 met 24 nullen erachter) aan het aardoppervlak. Van die 5 miljoen gebruikt de mens er 450 en in totaal gebruiken alle planten op aarde 5.000 tot 6.000 exajoule. Dat betekent dat er nog steeds ongeveer 5 miljoen exajoule zonne-energie ongebruikt blijven. De opvang van die zonne-

energie, via zonnecellen en windmolens, is niet het grootste probleem. De opslag van energie is dat wel, want waar laat je die energie? Al honderden miljoenen jaren wordt zonne-energie opgeslagen in biomassa. Bij die opslag worden meststoffen (afval), CO₂ en water gebonden en er komt zuurstof vrij. Biomassa, zoals bomen, planten,

algen en kleine zee-organismen, die miljoenen jaren geleden in de bodem terecht kwamen, zijn in de loop der tijd veranderd in steenkool, aardolie en aardgas. De erin opgeslagen zonne-energie wordt benut sinds de mens technieken heeft om ze uit de bodem te halen. Nog steeds echter, wordt dagelijks zonne-energie opgesla-


gen in planten. Die energie, die is opgeslagen in suikervachtige moleculen, kan eruit worden gehaald en worden veranderd in bijvoorbeeld ethanol. In de loop der decennia zijn technieken ontwikkeld om dat op een slimme manier te doen. Biomassa is niets anders dan recent opgeslagen zonne-energie.



De zon gezien door de Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT) aan boord van de Europese satelliet SOHO



vooral ook als bouwstenen voor bulkproducten in de chemische industrie en voor hoogwaardige chemische stoffen. En ook als bouwmaterialen en voor de rechtstreekse verbranding tot warmte. Het op grote schaal toepassen van biobrandstoffen en bioproducten vereist grote veranderingen in de samenleving. Die is immers al ruim een eeuw lang volledig afgestemd op het gebruik van fossiele grondstoffen. Zulke grootschalige veranderingen heten *transities*. De wereld is al vaker door zulke transities gegaan, zoals de overgang van kolen naar olie en gas in de vorige eeuw. Transities hoeven geen probleem te zijn, maar ze kunnen niet plaatsvinden zonder een omslag in de manier van denken van bestuurders, ondernemers en burgers. Ook niet zonder veranderingen in de wet- en regelgeving en in het beleid van (internationale) overheden en bedrijven. Transities kunnen ook niet plaatsvinden zonder veranderingen in het gedrag van consumenten. Ook daaraan besteedt dit cahier Biograndstoffen aandacht.

A low-angle photograph of a white wind turbine with red and white striped blades, standing in a field of bright yellow flowers under a clear blue sky. The turbine is the central focus, with its blades extending towards the top of the frame. The foreground is filled with the vibrant yellow flowers, which are slightly out of focus compared to the turbine.

Voor de productie van biodiesel in de gematigde klimaatzone is koolzaad het meest belovende gewas, in het mediterrane klimaat zijn dat vooral zonnebloemen.

Bronnen van biograndstoffen

Wordt koolzaad in Nederland de brandstof van de toekomst?

ER IS een oneindig palet van biomassa waaruit biobrandstoffen en biomaterialen kunnen worden gewonnen. Bestaande en nieuw te introduceren gewassen zijn een optie, maar er is ook een enorm grote bron aan organische restanten en afval die ongebruikt blijft. Nieuwe technieken ontsluiten nieuwe bronnen van energie en chemicaliën uit oude en vertrouwde gewassen en reststromen. Oliepalmen en suikerriet krijgen concurrentie van afgewerkt frituurvet en bietenpulp. Niet alleen voor de productie van warmte en elektriciteit of transportbrandstoffen, ook voor nieuwe en slimme toepassingen in de voedingssector en de chemie. Als het aan de technologen – en de politici – ligt, blijft straks geen snippertje plant meer ongebruikt.

Nieuwe generaties staan te trappelen

Biograndstoffen zijn grondstoffen die kunnen worden gehaald uit (de restanten) van levende wezens – planten, dieren en soms mensen. Uit biomassa dus. Voorbeelden van biobrandstoffen zijn olie uit oliepalmen, koolzaad, jatropha of algen en ethanol uit suikerriet, suikerbiet, tarwe en maïs. Voorbeelden van bioproducten zijn hout,

papier en katoen, maar ook azijnzuur uit graanstengels, ethyleen uit suikerriet, citroenzuur uit zetmeel en taxol uit taxusstruiken. Ook insuline uit alvleesklieren van varkens, penicilline uit schimmels, immunoglobulinen uit het bloed van donors of zwangerschapshormoon uit de urine van zwangere *Moeders voor Moeders* kunnen (niet voor de voeding gebruikte) bioproducten worden genoemd, hoewel dat niet gebruikelijk is. De laatste vijf zijn wel voorbeelden van het toepassen van biologische systemen voor de productie van zeer speciale en hoogwaardige stoffen. Het tegenovergestelde daarvan is het direct verbranden van biomassa voor warmte en elektriciteit, de bio-energie, een laagwaardige toepassing. Dit hoofdstuk gaat vooral over producten met een groot volume, zoals biobrandstoffen, bio-diesel en ethanol, en bioproducten, zoals bouwstenen voor de chemie. In mindere mate ook over bijzondere eiwitten en moleculen, die slechts in kleine hoeveelheden kunnen worden gemaakt, maar relatief veel geld opleveren. Sommige van de biograndstoffen kunnen rechtstreeks uit de biomassa worden gehaald, vaker zijn er een aantal tussenstappen voor nodig.

In het algemeen gaat het bij de biograndstoffen om de grootschalige productie van biomassa en het in grote hoeveelheden vervaardigen van

brandstoffen en bulkstoffen. De biomassa kan zijn verkregen door de teelt van gewassen, de kweek van algen en wieren of het verzamelen van organisch afval. Dat laatste bijvoorbeeld uit de land- en bosbouw, van huishoudens, en uit industriële processen. Diesel, ethanol en organische zuren zijn de belangrijkste producten die uit biomassa voortkomen. Maar, en dat is nog vooral toekomstmuziek, uit biomassa kunnen ook meer specialistische producten worden gehaald. Die kunnen worden gebruikt in de chemische industrie, de voedingsindustrie en de farmaceutische industrie.

Eerste, tweede en derde generatie biomassa

De meest gebruikte indeling van de biomassa is volgens de technologie die wordt gebruikt om

Maïs is een goed voorbeeld van eerste generatie biomassa



VRAAG 1

Waarom werken onderzoekers aan tweede generatie biograndstoffen?

er bouwstenen uit vrij te maken. Deze indeling wordt vooral gebruikt voor de aanduiding van biobrandstoffen, maar geldt ook voor bioproducten. De *eerste generatie* biomassa is de leverancier van de klassieke biobrandstoffen bio-ethanol en bio-diesel. Bio-diesel wordt geproduceerd door de fermentatie van zetmeel (zoals in maïs, tarwe en aardappelen) en suikers (zoals uit suikerriet en suikerbieten) en biodiesel ontstaat door het persen van noten en zaden (zoals die van oliepalmen, koolzaad en zonnebloemen) en bijvoorbeeld het *om-esteren* van de triglyceriden uit de olie met behulp van loog en methanol. In de eerste generatie processen worden de onderdelen van de plant gebruikt die ook als voedsel en veevoer kunnen dienen. Deze delen van de plant bevatten de gemakkelijk toegankelijke suikermoleculen (glucose), die de plant zelf gebruikt als reservevoedsel en die kunnen worden omgezet in ethanol. Daarbij worden alleen deze suikermoleculen ingezet voor de productie van brandstoffen. Andere onderdelen van de plant, die niet geschikt zijn voor voeding, zoals stengels en bladeren, blijven ongebruikt.

De *tweede generatie* biomassa wordt juist gevormd door die restproducten. Ook die onderdelen van de plant bevatten suikers. Die gebruikt de plant echter niet als (reserve)voedsel, maar voor haar structuur en stevigheid. In plaats van zetmeel bevatten die plantendelen vooral cellulose en hemicellulose. Dat zijn ketens waarin de glucosemoleculen veel hechter aan elkaar zitten dan in zetmeel of waarin zich ook andere suikermoleculen dan glucose bevinden. De toepassing van tweede generatie biomassa maakt gebruik van technieken en enzymen waarmee moeilijk toegankelijke suikers uit biomassa ontsloten kunnen worden, die in de eerste generatie technologie ongebruikt blijven. Ook werken de onderzoekers van de tweede generatie aan een volledige herprogrammering van de micro-organismen die worden ingezet voor de fer-



Voorbeelden van reststromen:

- > Strobalen
- > Aardappelstoomschillen
- > Bietenpulp bij suikerfabriek
- > Samengeperst oud papier

mentatie van die suikers. Deze micro-organismen maken ethanol uit de typen suikermoleculen die door het aloude bakkersgist niet kunnen worden omgezet. Ook kunnen de nieuwe micro-organismen suikers omzetten in andere moleculen dan louter ethanol.

Een *derde generatie* biomassa richt zich vooral op het gebruik van biomassa die niet is gebonden aan het gebruik van landbouw- of bosbouwgrond, zoals biomassa uit algen en wieren. Sommigen gebruiken de derde generatie als verzamelnaam voor allerlei nieuwe technieken om bruikbare stoffen uit planten vrij te maken. Bijvoorbeeld

lignine. Dat is een complex, lijmachtig polymeer dat dient als bindmiddel tussen cellulose en hemicellulose. Het geeft de plant een zeer grote bestendigheid tegen

stress en het molecuul stelt zich letterlijk teweer tegen zijn eigen afbraak. Huidige plannen voor de tweedegeneratie processen gaan er nog vanuit dat lignine zal worden verbrand voor het opwekken van warmte en elektriciteit. Lukt het, en zover is het nog zeker niet, het lignine uiteen te rafelen zonder het volledig af te breken, dan is dat een zeer rijke bron van chemische bouwstenen. Vooral van

aromatische verbindingen, zoals fenol, die in de chemie zeer gewild zijn.

Primaire, secundaire en tertiaire reststromen

Er is ook een indeling van de reststromen van biomassa. De *primaire* residuen komen direct beschikbaar waar deze wordt geteeld, zoals stro, bermgras, snoeihout uit boomgaarden, organisch afval uit kassen (bijvoorbeeld restanten van de tomaten- en plantenteelt), en loof van suikerriet, suikerbieten en oliepalmen. Het overeenkomstige kenmerk van primaire reststromen is dat deze tot nu toe te weinig waarde hadden om verzameld en verhandeld te worden. De boer laat ze achter op het veld. Die biomassa moet op de diverse teeltplekken worden verzameld en vervoerd naar een plek waar zij kan worden verwerkt. Dat geeft mogelijk een logistiek probleem.

Secundaire residuen zijn restanten die later in de productieketen vrijkomen. Bij het verwerken van bijvoorbeeld graan, suikerbieten en aardappelen komen bijproducten vrij die kunnen worden gebruikt. Voorbeelden hiervan zijn zaagsel in de zagerij, bietenpulp bij de raffinage van suiker en aardappelstoomschillen bij de productie van frietjes. Het verwerken van secundaire biomassa vereist minder logistiek voor transport doordat het afval centraler beschikbaar komt, het aantal bronnen is beperkt tot fabrieken in plaats van landbouwpercelen. Overigens is er dikwijls al een

De 'tweede generatie' biomassa wordt gevormd door restproducten van planten

Braziliaans suikerwonder

Brazilië heeft veel ervaring met de productie van ethanol. Van oudsher kent het land veel suikerfabrieken. Die werden ingezet voor de productie van ethanol tijdens de eerste oliecrisis in de jaren '70 van de vorige eeuw. Door die langjarige ervaring levert Brazilië nu de verreweg goedkoopst geproduceerde ethanol. Brazilië exporteert veel transportbrandstoffen, waaronder naar Nederland. Er staan nu ruim 300 ethanolfa-

brieken en er wordt veel universitair onderzoek naar suikerrietteelt en ethanolproductie gedaan. Een speciaal instituut, eigendom van een groep bedrijven, helpt die kennis algemeen te verspreiden. De logistiek van de productie en de teelt van suikerriet zijn geoptimaliseerd. Een opbrengst van rond 100 ton versgewicht per hectare is gebruikelijk, met uitschieters van een commerciële productie tot bijna 200 ton.

Zo is Brazilië er in geslaagd ongeveer 30 procent van zijn fossiele transportbrandstoffen te vervangen door slechts 1 procent van het agrarische areaal te gebruiken. Dat meet in totaal ongeveer 350 miljoen hectare. Het deel daarvan dat in beslag genomen wordt door soja is zes keer zo groot als dat voor de ethanolproductie, dat voor maïs vier keer zo groot en dat voor voedingssuikerriet twee

keer. Het deel voor de productie van non food valt dus nogal mee. Toch ging het in de jaren '90 bijna verkeerd met de Braziliaanse ethanolproductie. De wereldsuikerprijzen waren hoog en de suikerbaronnen konden daardoor meer verdienen aan de verkoop van suiker dan aan de productie van ethanol. Het Braziliaanse wagenpark was echter aangepast aan ethanol en auto's reden niet op benzine. Het leven dreigde

stil te komen staan. De introductie van het flexi-fuel systeem, heeft de problemen opgelost. Door een eenvoudige sensor in de uitlaat van de motor rijden de Braziliaanse auto's op elk mengsel tussen 0 en 85 procent ethanol. Dus ook op zuivere benzine. In 2009 waren de suikerprijzen weer hoog en was er geen ethanol aan de pomp, maar aan het verkeer in Rio de Janeiro was dat niet te merken.

nuttige bestemming voor dit soort restafval. De *tertiaire* residuen wordt gevormd door reststromen die vrijkomen nadat het product is gebruikt. Afgewerkt frituurvet en oud papier zijn daarvan voorbeelden, maar ook GFT-afval en dierlijke mest. Omdat het afval hier vaak wel op veel verschillende plekken in relatief geringe hoeveelheden vrijkomt, is de inzet daarvan afhankelijk van een goede logistiek.

natuurlijk hout en houtskool voor verwarming en koken. Tachtig procent van het huidige gebruik van biomassa is niet-commercieel en geschiedt vooral door de arme bevolking in ontwikkelingslanden. De helft van de wereldbevolking is voor zijn energievoorziening zelfs geheel afhankelijk van biomassa. Biomassa draagt voor ongeveer tien procent bij aan de wereldenergievoorziening.

→
**Ethanolfabriek
in Piracicaba, Brazilië**

Geschikte gewassen: vertrouwde en nieuwe gezichten

Het gebruik van biomassa voor energieopwekking is ouder dan de weg naar Rome en zeer wijd verbreid. Voorbeelden daarvan zijn gedroogde mest als brandstof, bladeren als dakbedekking, plantaardige olie – zoals castorolie of ricineolie – als lampolie, hout en rijst voor papier en



Van de commercieel aangewende biobrandstoffen wordt bio-ethanol wereldwijd verreweg het meest geproduceerd. 70 Miljoen kubieke meter in 2009, waarvan de Verenigde Staten en Brazilië samen meer dan negentig procent voor hun rekening nemen. De VS halen hun bio-ethanol uit maïs, Brazilië vooral uit suikerriet. Europa en andere continenten leveren nog relatief weinig bio-ethanol, waarvoor vooral suikerbieten en tarwe worden ingezet.

Het succesverhaal is natuurlijk de productie van ethanol uit suikerriet in Brazilië (en in iets mindere mate ethanol uit maïs in de Verenigde Staten). Daar zijn zeer efficiënte en hoogproductieve combinaties van fermentatiefabrieken en suikerrietteelt opgezet. Daarbij staat de fabriek

midden tussen de velden, zodat er slechts minimaal transport van het suikerriet nodig is. De niet bruikbare delen van de plant (*bagasse*) worden gebruikt als brandstof voor het destillatieproces. Brazilië exporteert veel bio-ethanol, tot 2008 was Brazilië zelfs de grootste producent, toen is het land ingehaald door de Verenigde Staten, dat nu het leeuwendeel (40 miljoen kubieke meter) aan bio-ethanol produceert. Verreweg de meeste Braziliaanse ethanol wordt in het land zelf gebruikt als (bijmenging in) transportbrandstoffen.

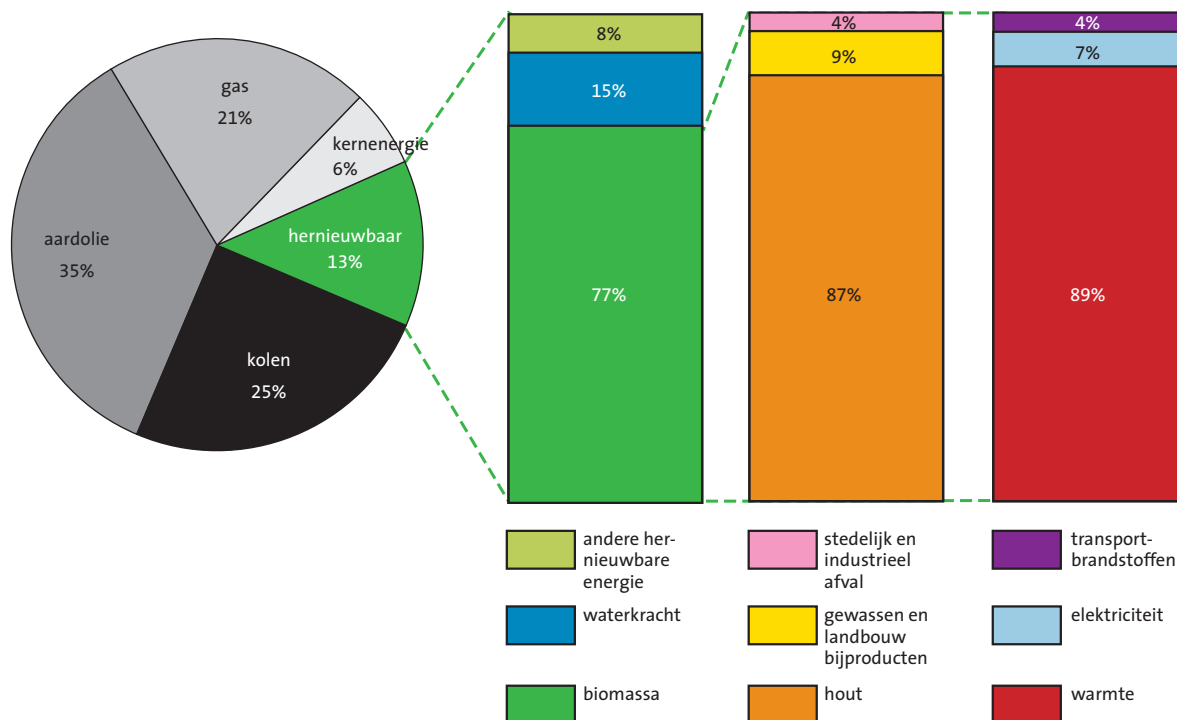
Oliehoudende gewassen

De wereldwijde productie van biodiesel is ongeveer een tiende deel van die van bio-ethanol – 7,75 miljoen kubieke meter in 2008 en Europa produ-

VRAAG 2

Wat is het voordeel van secundaire residuen voor biograndstoffen?

Aandeel van biomassa-energie in de wereldwijde primaire energiemix



Van de totaal beschikbare energie in de wereld is 13% hernieuwbaar. In de eerste kolom staat welke hernieuwbare vormen energie er zijn. In de tweede kolom wordt aangegeven van welke bronnen deze hernieuwbare energie afkomstig is. In de derde kolom voor welke toepassingen het wordt ingezet.

Bron: IEA, 2006 en IPCC, 2007

VRAAG 3

Wat is 'natte teelt' van biomassa en wat is daar interessant aan?



ceert daarvan het leeuwendeel. De belangrijkste bronnen voor biodiesel zijn koolzaad, oliepalmen en soja. Voor de productie van biodiesel is de oliepalm technisch heel geschikt. Als een oliepalm-plantage eenmaal is aangeplant, is er gedurende een aantal jaren bijna geen omkijken meer naar. Geen andere plant wint het van de oliepalm wat betreft de productie van liters olie per hectare, wel 4.500-6.000 liter. Palmen leveren ook behoorlijk wat bijproducten die zijn om te zetten in energie. Met de traditionele technieken winnen, wat de totale hoeveelheid energie betreft, alleen suikerriet en suikerbieten het (net) van oliepalmen. Daarom zijn in gematigde klimaatzones suikerbieten het gewas van eerste keuze voor de productie van ethanol. Voor de productie van biodiesel in de gematigde klimaatzone is koolzaad het meest belovende gewas, in het mediterrane klimaat zijn dat vooral zonnebloemen. Maar ook die kunnen niet tippen aan de opbrengst van de oliepalm – slechts een kwart tot een vijfde van de opbrengst daarvan.

Biogas uit elke boerderij

'Achter de boerderij komt een biogasinstallatie. Daar vergisten we de mest en halen er biogas uit. Om dat proces te optimaliseren, moet je er plantaardig materiaal bij doen. Je kunt maïs nemen, maar de maatschappij keert zich ertegen om energie te maken van voedsel. Ik snap dat, daarom heb ik een alternatief gezocht. We gaan herfstgras

gebruiken waarvan de voedingswaarde toch al slecht is. Het restproduct uit de biogasinstallatie bevat voedingsstoffen die ik kan gebruiken om het gras te laten groeien en daardoor hoef ik geen kunstmest meer in te kopen. Acht kilometer verderop, in Workum, staat de melkfabriek De Goede Verwachting. Daar willen we het gas aan leveren, dan blijft het in

de melkketen', zegt de Friese Anton Stokman in de NRC van 24 januari 2009. Stokman is één van een toenemend aantal Nederlandse boeren die mest vergist tot biogas. Dat kan met alle biomassa – van mest en rioolslib tot gft-afval en geteelde gewassen. De inwerking van bacteriën onder zuurstofloze omstandigheden levert een mengsel van

methaan en kooldioxide, net als moerasgas ontstaat. Als restproduct van de vergisting blijft een nat eindproduct, het digistaat, over. Van water en waterstofsulfide gereinigd biogas kan worden gebruikt in warmtekrachtcentrales voor verwarming, de opwekking van elektriciteit en als autogas – er zijn in Nederland pompstations waar biogas kan worden

getankt. In Nederland kan opgewaardeerd, van CO₂ gezuiverd, biogas ook worden bijgemengd in het aardgasnet. Dan is verwijdering van het grootste deel van het aanwezige koolstofdioxide noodzakelijk om een voldoende hoge verbrandingswaarde te halen. Er zijn in Nederland ongeveer 80 van zulke vergistingseenheden.

Een nieuwkomer op de oliemarkt is jatropha (*Jatropha curcas*) een taaie en giftige struik, waarvan de noten veel olie bevatten. De noten worden ook wel purgeernoot of schijtnoot genoemd omdat ze een laxerende werking hebben. De olie is feitelijk niet geschikt voor consumptie, maar wel als biodiesel en na enige verdere bewerking is de jatropha-olie zelfs geschikt als vervanging van kerosine in vliegtuigen. Het voordeel van jatropha is dat deze ook groeit op arme gronden, al is de opbrengst dan wel minder. In sommige streken zijn meer oogsten per jaar mogelijk. De plant komt uit Midden-Amerika en wordt nu aangeplant in delen van Afrika, India, Indonesië en ook in Midden-Amerika ten behoeve van de productie van biodiesel.

De olie-opbrengst van jatropha is ongeveer een derde van die van de oliepalm. Ook is er soja. Dat is rijk aan eiwitten en koolhydraten, maar ook aan olie – ongeveer 20 procent. Soja komt oorspronkelijk uit Zuid-Oost Azië, maar inmiddels kennen de Verenigde Staten en Latijns-Amerika er een rijke aanplant van. Ook soja-olie kan worden gebruikt als biodiesel, maar vooralsnog levert een hectare niet veel meer op dan 500 liter biodiesel, zo'n tien procent van wat een hectare oliepalmen produceert. Wel leveren sojaplanten naast olie grote hoeveelheden hoogwaardige eiwitten die als voedselingsrediënt, veevoer of in houtlijm kunnen worden gebruikt.

Suikerbieten

In West-Europa hebben suikerbieten een grote potentie voor de productie van ethanol. Aangepaste teeltmethoden en het gebruik van andere rassen kunnen de kansen van bieten als energiegewas verder versterken. Sommigen denken zelfs aan *energiebieten*. Die hebben weliswaar een hoger eiwitgehalte dan de traditionele suikerbieten, maar leveren ook een hogere opbrengst aan suiker per hectare. Voor de productie van kristalsuiker



Het maaien van bermgras

uit suikerbieten is eiwit een storende factor, voor de productie van bio-ethanol echter niet. Ook aardappelen zijn, vanwege hun hoge zetmeelgehalte, geschikt voor de productie van bio-ethanol. Aardappelen hebben minder loof dan bieten. Voor een optimaal gebruik van de plant, kan dat loof met de andere reststoffen van de plant en die uit het productieproces worden vergist tot biogas. Mede daardoor en door het hogere gehalte aan koolhydraten in suikerbieten is de totale energie-opbrengst van een hectare aardappelen bijna twee keer lager dan die van een hectare suikerbieten.

Nieuwe gewassen

Onderzoekers en overheden zijn voortdurend op zoek naar nieuwe gewassen die geschikt kunnen zijn voor de productie van bio-ethanol en biodiesel. In Nederland en Europa is een nieuwe ontwikkeling gaande, waarbij de snijmaïs, die vooral geschikt is als veevoer, wordt vervangen door korrelmaïs. Dat is een betere kandidaat voor de productie van ethanol en vooral ook van warmte



Chinees riet

Meerjarige grassen kunnen wel
twintig jaar produceren zonder
veel aandacht van de boer

en elektriciteit. Ook grassen worden bestudeerd. Bermgras kan dienen als energiebron. Maar de aandacht gaat vooral uit naar andere, meer houtige, gewassen die ook grassen worden genoemd, maar niets te maken hebben met het gras op het gazon. Zo zijn er twee totaal verschillende soorten houtige gewassen die allebei *olifantsgras* worden

genoemd (het uit Afrika afkomstige *Pennisetum purpureum* en het Zuid-Aziatische *Miscanthus sinensis*, ook wel Chinees riet genoemd). Deze gewassen kunnen meters-

hoog worden en zijn uitermate geschikt voor de productie van biobrandstoffen, bijvoorbeeld via het proces van pyrolyse en fermentatie (zie hoofdstuk 4).

In meer gematigde streken zoals Europa en Noord-Amerika, staat het *switchgrass* (*Panicum*

virgatum) op de agenda van de boeren en producenten van bio-energie, vooral voor warmte en elektriciteit. De genoemde gewassen zijn alle meerjarige grassen die wel twintig jaar kunnen produceren zonder veel aandacht van de boer. Ook snelgroeiende bomen, zoals wilgen, kunnen als houtsnippers of houtpellets dienen als biomassa voor energie. Ze kunnen direct worden verbrand, maar het is beter ze via pyrolyse en torrefactie (zie hoofdstuk 4) om te zetten tot brandstof (biodiesel, bio-ethanol, biogas en biokool). In Nederland, maar ook in andere landen, zijn grote arealen gras voorhanden. In Europa kan met geringe inspanning veel extra gras worden geteeld. Dat kan dienen voor de productie van eiwitten voor diervoeding en ethanol of voor andere niet-voedings toepassingen zoals papier uit de restanten. Voor de houtteelt komen snelgroeiende soorten als wilgen, populieren en eucalyptus in aanmerking.

Algen en wieren

Behalve de bovengenoemde *droge teelt* van gewassen is er een *natte teelt* van biomassa. Zoals plantenteelt in sloten en kanalen, zoutwaterlandbouw, teelt van micro-algen in speciale bassins en van zeewieren op zee. De biomassa uit sloten en kanalen is in feite een afvalstroom die ontstaat bij het schoonmaken van watergangen. Nu blijven deze plantenresten op de kant liggen of worden ze afgevoerd als slib. Ze zouden ook verbrand of vergist kunnen worden. Zoutwaterlandbouw is een soort gemengd bedrijf van de productie van vis, schelpen en schaaldieren, algen en wieren en zilte planten op verzilte bodems. De teelt van zeewier wordt al op enige schaal toegepast voor de productie van polysacchariden als alginaat en carrageen voor de voedingsmiddelenindustrie. Wieren en algen hebben een hoog gehalte aan suikers en bevatten slechts weinig van het moeilijk afbreekbare lignine. Ze zijn zeer geschikt voor de vergisting tot methaan en de fermentatie tot ethanol. Maar

ze zijn ook geschikt om er basischemicaliën uit te winnen, zoals biopolymeren, eiwitten, vetzuren en kleurstoffen.

Datzelfde geldt ook voor micro-algen, ééncelligen die door middel van fotosynthese zonne-energie kunnen benutten. Ze kunnen tot zeer grote dichtheden groeien, ook in zout water. Micro-algen kunnen eiwitten produceren en zo een grote eiwitbron zijn voor de traditionele veevoedersector en daar soja-eiwit vervangen. Ze produceren ook vetten, zoals ω -3 vetzuren en biodiesel, koolhydraten, zoals suikers en zetmeel voor bio-ethanol, en speciale koolwaterstoffen. Daarnaast kunnen ze ook pigmenten maken, zoals carotenoïden en anti-oxidanten. Wat ze maken, hangt af van de soort algen en van de kweekcondities. De ene soort zal onder stress vooral vetten maken, de andere vooral zetmeel. 60 Procent



**Algenonderzoek
in laboratorium**

vetten of suikers, 30 procent eiwitten en 2 tot 3 procent pigmenten is een typische samenstelling van micro-algen. Een bioreactor met algen kan wel 20.000 tot 30.000 liter olie per hectare per jaar opleveren. Dat is tot vijf keer meer dan een hectare oliepalm (6.000 liter olie per hectare per jaar). Maar een palmboom groeit vanzelf, terwijl een algenkwekerij veel kapitaal, energie en controle over het proces vergt. Goede plekken voor dit soort reactoren zijn rond de evenaar of, binnen Europa, in Zuid-Spanje. Hoe meer zonneschijn, hoe hoger de productie is. In Zuid-Spanje is theoretisch een jaarproductie van 300 ton droge stof per hectare haalbaar, maar in de praktijk komt men nog niet verder dan ongeveer een tiende daarvan. De EU stimuleert nu demonstratieprojecten op een schaal van 10 hectaren.

←
**Zeewierkwekerij
bij Zanzibar**



Suikerbiet wordt energiebiet

‘BIOBASED DOEN wij al honderd jaar’, zegt Ad de Laat van het food technology center van het agro-industrieel bedrijf Cosun. ‘Wij gebruiken niet de in aardolie, steenkool en gas opgeslagen zon van miljoenen jaren geleden, maar de zon van vandaag.’ De suikerbiet, een van de kernproducten van Cosun, is een enorm goede zonnecollector. Van een hectare suikerbieten haalt de boer ongeveer 80 ton bieten en bijna 50 ton blad. Gemiddeld is dat 25 ton droge stof: 14 ton kristalsuiker en 11

ton andere suikers en celwandmateriaal (pulp voor veevoer). In de gematigde klimaatzone is geen ander gewas dat meer droge stof per hectare levert; bijna twee keer zoveel als aardappelen of graan. Maar die opbrengst kan beter dan nu benut worden, want er blijft veel loof achter op het land. Voor de toepassing van suikerbieten is, naast suiker, een aantal nieuwe toepassingen in onderzoek.

Op korte termijn zal de biet niet veranderen, dus concentreren onderzoekers zich op bietenpulp en bietenloof. Nu wordt de grootste nevenstroom – (de celwanden) van het bietenpulp – afgezet als veevoer. Door het bewerken van bietenpulp kunnen uit de celwanden bouwstenen worden vrijgemaakt, gescheiden en afzonderlijk gebruikt. Bijvoorbeeld voor bioplastics. De celwanden van bieten zijn arm aan het moeilijk kapot te maken lignine, waardoor bietenpulp gemakkelijk is te kraken. Galacturonzuur, xylose en galactose zijn interessante moleculen die uit bietenpulp zijn te halen en kunnen worden ingezet in synthetische processen, zoals bij de productie van plastics en weekmakers. In het ideale geval blijft na het kraken van de bietenpulp geen restafval over doordat alle componenten gebruikt kunnen worden. Datzelfde geldt ook voor het kraken van de bladmassa, maar dat is iets voor de wat verdere toekomst. De Laat: ‘Over twintig jaar vragen mensen zich af hoe het kan dat we in 2010 nog geen nuttige bestemming hadden voor het bietenloof.’

Lokale vergistingsinstallaties

De efficiëntie van de landbouw is gelimiteerd door het aanwezige water en de mineralen in de bodem.

Suikerbietenteelt
in Nederland





Suikerfabriek
in Dinteloord

Door al het loof te benutten en niet meer op het land terug te brengen, verarmt de grond. Bijvoorbeeld wat fosfor en kalium betreft. Die mineralen kunnen worden teruggewonnen en weer op het land gebracht. Op lokale schaal, want het bietenblad bestaat voor 85 procent uit water. Het is inefficiënt dat over grote afstanden te verslepen, maar niet om de restanten in lokale installaties te vergisten tot biogas. Dat is beter dan de bladeren laten weggroten op het land, waarbij de broeikasgassen CO_2 , methaan en lachgas vrijkomen. Wat na de vergisting achterblijft kan als grondverbeteraar weer terug op het land worden gebracht. Zo'n

vergister zou efficiënt zijn voor bietenboeren in een straal van tien, vijftien kilometer.

Op de lange termijn verwachten onderzoekers meer inzicht te krijgen in hoe planten (bio) chemisch werken. Over twintig jaar kan de biet genetisch zo worden veranderd dat deze is te gebruiken als een fabriek van chemische verbindingen. In plaats van gist in te zetten voor de fermentatie, kunnen genen die biotechnologen in de biet hebben ingebracht, suiker direct omzetten in moleculen die geschikt zijn voor de basischemie, zoals itaconzuur, poly-asparaginezuur en wellicht melkzuur en propaandiol.

Olie uit het algenbassin

ER ZIJN wel 80.000 soorten algen bekend die een enorm scala van stoffen kunnen produceren. Ze zijn complexer dan bacteriën, maar eenvoudiger dan planten en kunnen door fotosynthese zonne-energie omzetten in biomassa. In principe kun je algen alles laten doen, maar veel van de technieken voor biotechnologie voor algen moeten nog worden verbeterd. Algen staan al langer in de belangstelling als brandstof en leveranciers van uiteenlopende stoffen, zoals eiwitten (algen kunnen een grote eiwitbron zijn voor de traditionele veevoersector

en daar soja-eiwit vervangen), vetten (zoals ω -3 vetzuren en biodiesel), koolhydraten (zoals suikers en zetmeel voor bio-ethanol en speciale koolwaterstoffen) en pigmenten (zoals carotenoïden en anti-oxidanten). In de jaren '50 leken algen een goedkope bron van eiwitten, maar de productie bleek te duur en de technologie was er nog niet rijp voor. Toen de landbouwprijzen eind jaren '70 daalden, leidde dat tot hernieuwde aandacht voor biomassa uit algen, zeker toen ook de olieprijs stegen. Algen hebben een hoge productiviteit en kunnen tot grote dichtheden groeien in zout en

Boze Braziliaanse president

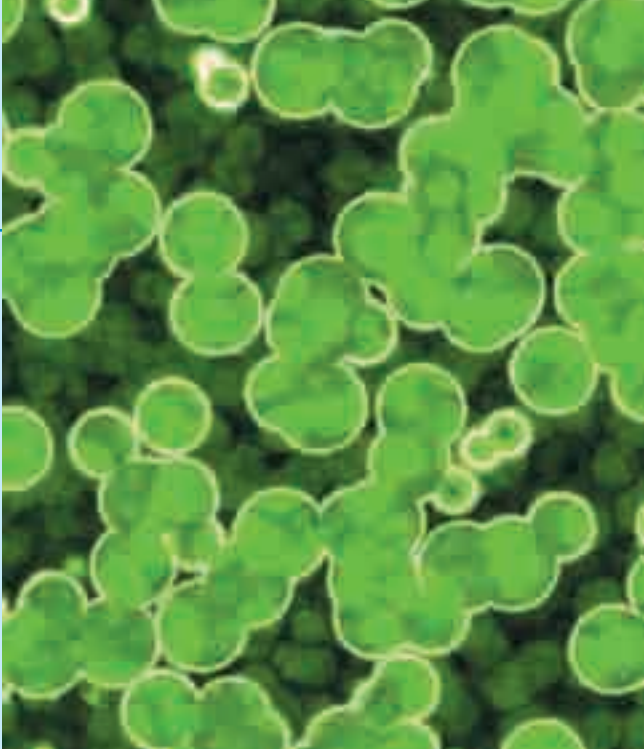
President da Silva van Brazilië hekelt eind 2007 in de Verenigde Naties de houding van de VS en Europa. Die zouden hun eigen landbouw beschermen en de bio-ethanolproductie uit suikerriet in Brazilië in diskrediet proberen te brengen. De gebruikte argumenten rond milieu en voedseltekorten 'houden afhankelijkheid en onderontwikkeling in stand', meent da Silva en ze zijn een

excuus voor het westerse protectionisme en de bescherming van de eigen olie- en gasindustrie. Slechts een kwart van het Braziliaanse beschikbare landbouwareaal is ontgonnen en minder dan vier procent daarvan wordt gebruikt voor de productie van ethanol. Dus er is helemaal geen keuze tussen voedsel en energie, stelt da Silva, die opnieuw verzekert dat alleen Braziliaanse

biobrandstof op de markt komt onder garantie van goede sociale-, milieu- en arbeidsomstandigheden. 'Het is absoluut mogelijk om biobrandstoffen te combineren met milieubescherming en voedselproductie. Het probleem van de honger in de wereld is niet een tekort aan voedsel, maar een gebrek aan inkomen', constateert de Braziliaanse president.



De Braziliaanse president Luiz Inácio 'Lula' da Silva tijdens een FAO-conferentie over voedselveiligheid, klimaatverandering en bioenergie



volle – condities worden gekweekt. Andere soorten maken onder stress juist zetmeel.

←
Microscopische opname
van algen

120 ton per hectare

Hoewel veel van de basistechnieken dezelfde zijn als die in de jaren '50, ligt de nadruk in de moderne algenkweek niet meer op de productie van voedingseiwitten, maar op grote hoeveelheden laagwaardige producten, zoals grondstof voor biodiesel. Daarvoor is een hoge opbrengst nodig. In theorie zou een algenreactor 300 ton droge stof per hectare per jaar kunnen leveren, in het laboratorium is 120 ton haalbaar en in de praktijk komt men nog niet verder dan 30 tot 40 ton in het zonnige zuiden van Spanje. De helft van de massa kan worden gebruikt als biodiesel, en onderzoekers verwachten dat algen uiteindelijk 80.000 liter olie per hectare per jaar zullen gaan produceren. Een liter biodiesel uit algen kost nu ongeveer 6 euro, terwijl petrochemische diesel 50 cent kost. Om die kostprijs van een halve euro te halen is minimaal een productie van 80 ton droge stof per hectare nodig en een bioraffinage van de beschikbare biomassa in verschillende waardevolle fracties. De *droom-alg* heeft een hoge productiviteit, zowel in biomassa als aan specifieke componenten (bijvoorbeeld olie), moet robuust zijn zodat deze stabiel geteeld kan worden op grote schaal, moet eenvoudig uitvlokken zodat het oogsten gemakkelijker wordt en moet een dunne celwand hebben, zodat de cellen eenvoudig zijn open te breken voor de raffinage van producten.

zoet water. Ze bestaan uit plantaardig materiaal, maar bevatten geen lignine, waardoor ze zacht zijn en gemakkelijk te verwerken.

Bioraffinage, het in afzonderlijke fracties scheiden van biomassa, is een belangrijk element bij de productie van grondstoffen uit algen. Algen zijn alleen commercieel interessant als de ééncelligen combinaties leveren van diverse producten die goedkoop zijn en die op grote schaal en als bulkproduct kunnen worden toegepast, zoals vetten voor biodiesel en eiwitten voor voeding en veevoer. Algen kunnen ook dienen als voeding voor vis. Uit algen kan niet alleen via vergisting bio-ethanol worden gemaakt, ze kunnen ook rechtstreeks vetten, zoals voor biodiesel, produceren. Dat is gunstig, want biodiesel bevat een derde meer energie dan bio-ethanol (37 respectievelijk 27 gigajoule per ton). Er is een enorme variatie in de hoeveelheid vetten die algen kunnen produceren. Er zijn algen die tussen de 50 en 70 procent vet produceren, wanneer ze onder speciale – stress-

Jatropha: olie voor de armen

JATROPHA CURCAS is een vier meter hoge heester die waarschijnlijk ooit vanuit Midden-Amerika naar andere tropische gebieden is gekomen. Het is een plant met vruchten die oliehoudend zaad bevatten waaruit olie is te winnen. De plant heeft enkele voordelen boven de oliepalm. Jatropha-olie is giftig, dus concurreert jatropha-olie niet direct met voedsel. Het verspreidingsgebied is veel groter dan de oliepalm en strekt zich uit tot subtropische gebieden. Jatropha heeft minder water nodig dan oliepalmen en groeit ook op wat armere grond, zoals op terreinen met erosieproblemen. In Indonesië zijn dat bij-

Het Eco do Grito project in Mozambique maakt biodiesel uit jatrophnoten

voorbeeld gebieden waar ooit kolen en mineralen zijn gedolven. Het op grote schaal toepassen van jatropha is minder gemakkelijk dan van oliepalmen. Die leveren zes ton olie per hectare, jatropha momenteel één tot anderhalve ton. Bovendien is het mechanisch oogsten van de nootjes waaruit de olie wordt gewonnen lastig. Omdat de planten continu vruchtbaar zijn en voortdurend bloemen dragen, verdient handmatig oogsten de voorkeur, hoewel er nieuwe oogstmachines in ontwikkeling zijn.

In principe kunnen dieselmotoren, zoals in auto's en elektriciteitscentrales, direct draaien op jatropha-olie. Maar net als koolzaadolie is de olie nogal stroperig waardoor het gedrag bij lage temperatuur niet gunstig is. Vanwege die stroperigheid is het beter de olie eerst om te zetten in biodiesel. Onderzoekers richten hun aandacht niet alleen op de olie, maar ook op bijproducten van de jatrofaplant. Kan de perskoek worden ontgift en dienen tot diervoeder, de kleverige latex worden gebruikt als lijm, of kunnen plantenresten een bron van lokaal geproduceerd biogas zijn? Er wordt ook geëxperimenteerd met het bijmengen van jatropha-olie in vliegtuigkerosine. Air New Zealand vloog eind 2009 een Boeing 747 waarvan één motor draaide op een 50-50 mengsel van jatropha brandstof en traditionele kerosine. Een maand eerder deed KLM een vergelijkbaar experiment met brandstof van olie uit de zaden van de huttentut (*Camelina sativa*). Deze kruisbloemige plant komt van oudsher voor in Nederland en is hier waarschijnlijk een van de eerste cultuur-





gewassen geweest. De zaden bevatten olie die gebruikt werd voor olielampjes en sinds 23 november 2009 dus ook als kerosine.

Drie, vier jaar geleden is jatropha gehypt. Allerlei investeerders zijn er in gestapt, waaronder ook de Indonesische overheid. Maar de projecten zijn grotendeels mislukt. Er waren ziektes in de heesters, de opbrengst viel tegen en niet elke grondsoort bleek geschikt, zoals aanvankelijk was gedacht. Investeerders denken aan plantages van honderdduizend hectaren, het lijkt erop dat jatropha vooralsnog geschikter is voor toepassing op lokaal niveau: nootjes verzamelen, een klein persje neerzetten en met de olie lokaal elektriciteit opwekken. Er is nog maar weinig bekend over de verschillende jatropha-rassen en de beste teelt-eigenschappen. Ook zijn nog weinig kenmerken van de plant voldoende veredeld, zoals een hogere olie-opbrengst. Een aantal meer succesvolle proeven is gedaan in vruchtbare geïrrigeerde vulkanische grond. De vraag is wat het resultaat zal zijn op marginale grond.

ANTWOORD 1


Voor deze grondstoffen zijn geen delen van de plant nodig die ook als voedsel gebruikt zouden kunnen worden. Daardoor ontstaat geen concurrentie tussen voedsel en energie en maken we efficiënter gebruik van de grondstoffen.

ANTWOORD 2

Deze reststromen ontstaan bij de verwerking van voedsel in de fabriek. Ze zijn daardoor gemakkelijker te verzamelen dan primaire en tertiaire residuen, die van vele plekken moeten worden opgehaald.

ANTWOORD 3

De teelt van wieren en algen. Er is geen landbouwgrond voor nodig, ze groeien in grote dicht-heden en hebben geen houtige, lastig te verwerken, bestanddelen.



Als de efficiëntie van de landbouw verder verbetert, zoals wordt verwacht, zullen akkers die nu voor voeding worden gebruikt, vrijkomen voor de productie van groene grondstoffen.

De noodzaak van biomassa

De productie van biograndstoffen hoeft geen belemmering te zijn voor de voedselproductie.

AL IN de jaren '70 van de vorige eeuw was er belangstelling voor biomassa als brandstof. De Club van Rome uitte zijn bezorgdheid over de eindigheid van fossiele grondstoffen en ook kende de wereld toen een oliecrisis. De argumenten van toen zijn nog even geldig. Het is er niet gemakkelijker op geworden om aardolie te winnen en ook zijn de meeste olierijke regio's niet stabiel geworden. Nieuwe argumenten zijn de noodzakelijke strijd tegen het broeikasversterkende kooldioxide en de niet aflatende behoefte aan een *vierde gewas* van boeren. Biomassa is er genoeg op aarde, maar of die ook in voldoende mate beschikbaar zal kunnen komen, is onderwerp van debat.

Beschikbaarheid: veel blijft onbenut

Dat biograndstoffen na een opleving in de jaren '70 van de vorige eeuw opnieuw sterk in de belangstelling staan, heeft een aantal redenen. De belangrijkste is het toenemende besef over de eindigheid van de voorraden aan fossiele brandstoffen. Ook al is er discussie over de vraag wanneer ze op zijn, dat moment zal ooit aanbreken. Dan moeten er alternatieven voorhanden zijn om

de huidige welvaart op peil te kunnen houden. De verwachte stijging van de olieprijs en het feit dat fossiele brandstoffen, en vooral aardolie, geproduceerd worden door een relatief klein aantal landen in regio's die niet bekend staan om hun politieke stabiliteit, heeft de urgentie tot het vinden van alternatieven vergroot. Vooral voor Noord-Amerika en in mindere mate in Europa speelt daarbij de behoefte om de eigen landbouw te ondersteunen door het vinden van nieuwe gewassen die economisch interessant zijn. De teelt van biomassa voor zowel transportbrandstoffen als producten lijkt aan die voorwaarde te voldoen. Het bedrijf Iogen in Canada bijvoorbeeld, maakt tweede generatie bio-ethanol uit tarwestro en in de Verenigde Staten zitten een paar bedrijven dicht tegen de marktintroductie van zulke technieken aan. De VS hebben een soort Apollo-programma voor bio-brandstoffen in het leven geroepen. Vergelijkbaar met het programma, waarmee de Amerikanen in de jaren '60 de eerste man op de maan zetten. Met als doelstelling: er moet cellulose-ethanol geproduceerd worden. De boerenlobby heeft daarbij een belangrijke rol gespeeld. Net als in Europa zoeken boeren in de VS steeds naar een nieuw gewas voor hun braakliggende prairies. Bovendien is er een enorme technologische push vanuit de industrie.

Hoe lang zal het duren voor de fossiele brandstoffen zijn uitgeput?



Resten van maïs en tarwe krijgen daarmee een nieuwe bestemming.

CO₂-uitstoot

De behoefte aan alternatieven voor fossiele brandstoffen is ook ingegeven door de klimaatveranderingen die op handen zijn. De uitstoot van het broeikasgas CO₂ in de atmosfeer moet worden teruggedrongen en de inzet van hernieuwbare energiebronnen, zoals biomassa, draagt daaraan

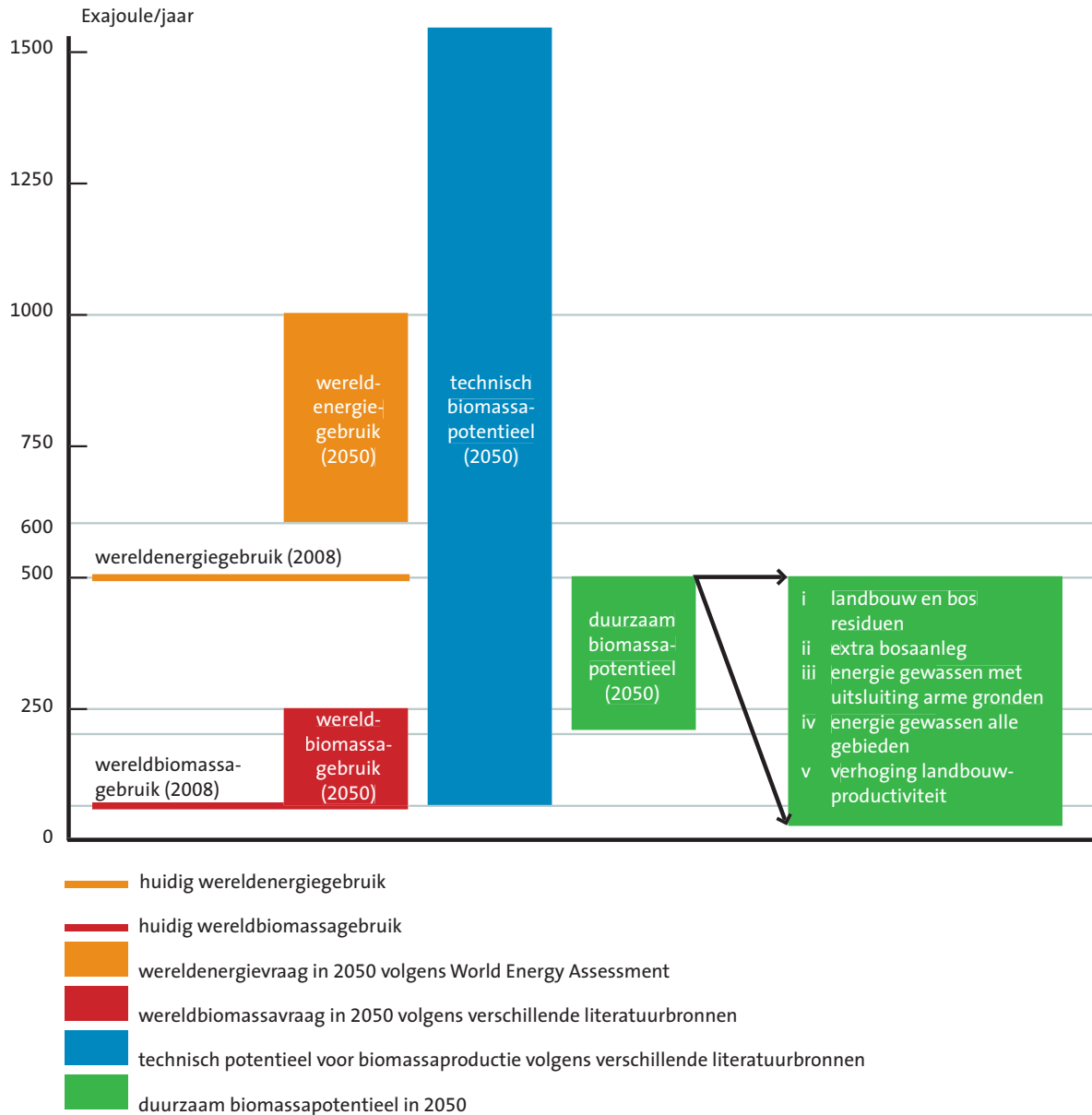
Biomassa zijn jonge fossiele grondstoffen die hun koolstof pas recent uit de atmosfeer hebben opgenomen

bij. Fossiele grondstoffen zijn niets anders dan oude biomassa. Bij de verbranding ervan komt koolstof vrij in de vorm van CO₂, die vele miljoenen jaren geleden uit de lucht is opgenomen en opgeslagen in bomen en planten. Biomassa zou je kunnen beschouwen als jonge fossiele grondstoffen die hun koolstof pas recent – het afgelopen jaar of de afgelopen decennia – uit de atmosfeer hebben opgenomen. Worden die verbrand dan ontstaat een koolstof/CO₂-kringloop van hooguit enkele decennia, te kort om van betekenis te zijn voor een toename van het CO₂-gehalte in de atmosfeer en

voor het broeikaseffect. De CO₂ die vrijkomt bij het verbranden van de geoogste biomassa wordt immers weer opgeslagen tijdens de teelt van de volgende oogst. Zo is het gebruik van grondstoffen uit biomassa CO₂-neutraal – afgezien van de energie die nodig is voor de teelt, de bemesting en het transport van de gewassen en het maken en transporteren van de biograndstoffen.

Omdat zowel de welvaart als het aantal wereldbewoners zal toenemen, wordt tot 2050 een flinke stijging verwacht van de hoeveelheid energie die wereldwijd wordt geconsumeerd. Daarbij wordt rekening gehouden met een toename van de efficiëntie van het energiegebruik en van energiebesparende maatregelen. Minimaal wordt rekening gehouden met een verdubbeling van de wereldwijde energieproductie tot 1.000 exajoule per jaar, maar een verdrievoudiging wordt ook realistisch geacht. Het aandeel van hernieuwbare bronnen daarin zal ook toenemen, waaraan ook biograndstoffen een bijdrage zullen leveren. Er zijn diverse scenario's geschetst – sommige optimistisch, andere pessimistisch – over het aandeel van biomassa en biograndstoffen in de toekomstige energievoorziening. De meeste scenario's zien in 2050 tussen de tien en dertig procent van de totale energiebronnen weggelegd voor biomassa.

Huidig en potentieel gebruik biomassa



Het technische biomassa-potentieel geeft aan hoeveel biomassa er maximaal geproduceerd en geoogst kan worden. Het duurzaam potentieel is kleiner omdat hierbij rekening wordt gehouden met een aantal duurzaamheidscriteria.

Bron: Dornburg et al, Biomass Assessment, Report 500102, januari 2008

VRAAG 1

Wat zijn de belangrijkste argumenten voor het gebruik van biomassa?

Beschikbaarheid van biomassa

Behalve de herkomst en de samenstelling van de biomassa is de beschikbaarheid van biomassa een belangrijk aspect. Dat is een complex vraagstuk waarbij veel factoren zijn betrokken. De hoeveelheid landbouwgrond die theoretisch beschikbaar is op aarde en de opbrengst per hectare van de diverse gewassen, bepalen de hoeveelheid biomassa die maximaal beschikbaar zou kunnen komen. In de praktijk zal dat veel minder zijn dan theoretisch mogelijk is. Bovendien is het de vraag of de eruit gewonnen biograndstoffen ooit de gewenste plaats van bestemming zullen bereiken. De totale vraag naar energie op aarde bedraagt 450 tot 500 exajoule per jaar en zal zich bij een groeiende wereldbevolking en een toenemende welvaart waarschijnlijk stabiliseren op 1.000 exajoule in 2040. Het Platform Groene Grondstoffen bijvoorbeeld, berekende dat de stroom reststoffen van land- en bosbouw wereldwijd een energetische waarde van 100 exajoule vertegenwoordigt.

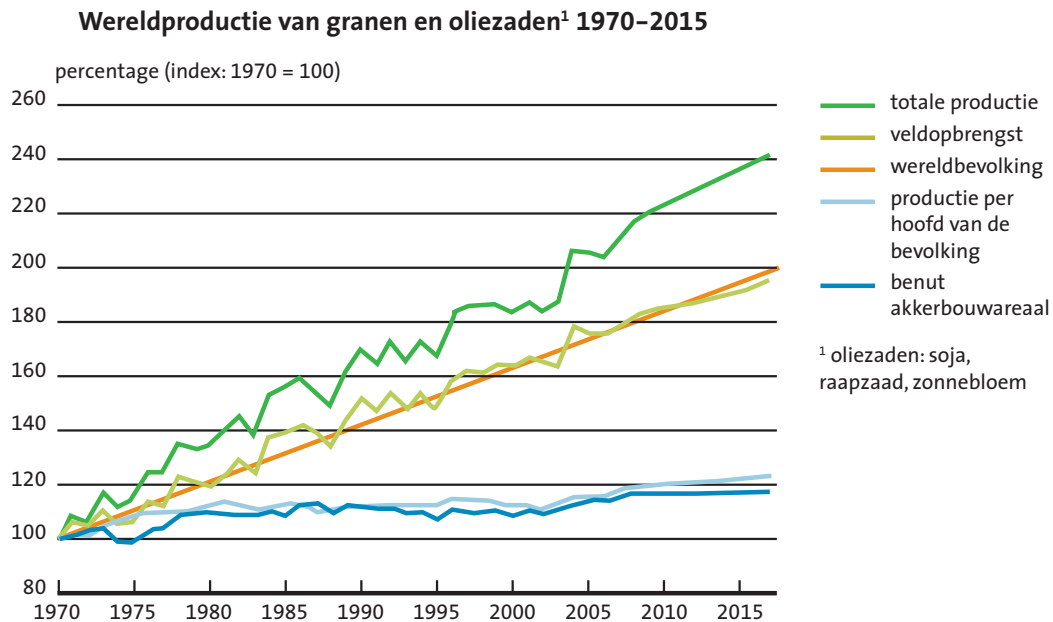
Nog eens 100 exajoule kan worden geproduceerd door de teelt van energiegewassen op grond die nu ongeschikt is voor landbouw, zoals marginaal, braakliggend, verzilt, verdroogd en geërodeerd land. Als de efficiëntie van de landbouw verder verbetert, zoals wordt verwacht, zullen akkers die nu voor voeding worden gebruikt, vrijkomen voor de productie van groene grondstoffen. Halverwege deze eeuw zal die biomassa nog eens 200 exajoule energie opleveren. Dat zou betekenen dat een derde tot de helft van de wereldbehoefte aan energie tegen die tijd uit biomassa kan komen.

Beschikbaar areaal

Tot niet zo lang geleden lag ongeveer 10 miljoen hectare van de 100 miljoen hectare akkerland in de 25 landen die tot 2007 de Europese Unie vormden (EU-25) braak. Dit vanwege het Europese landbouwbeleid. Inmiddels is dat verminderd tot bijna nul. Inclusief Roemenië en Bulgarije is het landbouwareaal van de EU-27 nu 170 miljoen ha,

Ontwikkeling van de wereldwijde productie van granen en oliezaden van 1970 tot 2015.

Bron: USDA (US Department of Agriculture) Agricultural projections



Duurzaamheidscriteria Nederland

In februari 2007 formuleerde de door de Nederlandse overheid ingestelde projectgroep Duurzame productie van biomassa (de Commissie Cramer, naar haar voorzitter de voormalige minister van VROM, dr. Jacqueline Cramer) een aantal duurzaamheidscriteria voor de verantwoordende en duurzame inzet van biomassa. Ze gelden voor de productie en de bewerking van bio-

massa in energie, brandstoffen en chemie en voor biomassa uit Nederland, de EU of van daarbuiten. De zeven criteria, uitgewerkt in het Toetsingskader voor duurzame biomassa, zijn voor een groot deel opgenomen in de EU-richtlijn en vertaald in de Nederlandse duurzaamheidsstandaard op basis waarvan een duurzaamheidscertificaat kan worden verleend.

1. Gerekend over de hele keten, moet het gebruik van biomassa netto minder emissie van broeikasgassen opleveren dan gemiddeld bij fossiele brandstof (minimaal 30 procent reductie vergeleken met fossiele brandstof).
2. De aanleg van nieuw areaal voor de aanplant van biomassa voor energie mag op langere termijn niet leiden tot het vrijkomen van grote hoe-

veelheden koolstof die daar waren opgeslagen (in bodem of vegetatie).

3. De productie van biomassa voor energie mag de voedselvoorziening en andere lokale toepassingen (zoals voor medicijnen of bouwmaterialen) niet in gevaar brengen.
4. Biomassaproductie zal geen beschermde of kwetsbare biodiversiteit mogen aantasten en zal waar mogelijk de biodiversiteit versterken.

5. Bij de productie en verwerking van biomassa moet de kwaliteit van bodem, oppervlakte- en grondwater en lucht behouden blijven of zelfs worden verhoogd.
6. De productie van biomassa moet bijdragen aan de lokale welvaart.
7. De productie van biomassa moet bijdragen aan het welzijn van de werknemers en de lokale bevolking.

daarnaast is er nog 60 miljoen hectare grasland. De afgelopen veertig jaar is de landbouwopbrengst ongeveer twee procent per jaar gestegen zonder dat er veel meer landbouwgrond in gebruik is genomen. Gewassen als gras, snijmaïs, cassave en suikerriet hebben een opbrengst van rond de 20 ton per hectare. 'Daar zou zonder problemen voor de voedingsdoelstellingen best wat biomassa vanaf kunnen voor gebruik in de chemie ter vervanging van fossiele grondstoffen', stelt Hans Langeveld, tropisch landbouwkundige in Wageningen die de beschikbaarheid en het gebruik van biomassa onderzoekt. 'Daarmee kan flink wat CO₂ worden bespaard. De Nederlandse landbouw levert veel biomassa die onvoldoende wordt gebruikt. Door raffinage van de biomassa valt twee tot drie keer zoveel CO₂ te besparen dan nu het geval is met dezelfde hoeveelheid land. Tot wel 34 ton CO₂ per hectare.'

Zijn Utrechtse collega André Faaij ziet ook mogelijkheden in de braakliggende landerijen,

maar waarschuwt dat de broeikasbalans van voedselgewassen niet zo hoog is en dat deze relatief dure grondstoffen opleveren. Een duurzame vervanging van fossiele grondstoffen moet, zeker in Europa, komen van de inzet van organische reststromen en de toepassing van brandstof- en grondstoftechnologie van de tweede generatie. Faaij: 'Slecht beleid en slechte keuzen uit het verleden zijn de oorzaak van de huidige negatieve houding ten opzichte van biobrandstoffen.' Toch betekent de eenvoudigste techniek – elektriciteit maken uit houtige reststromen – al 90 procent vermindering van CO₂ ten opzichte van aardolie. Hout en gras zullen de grondstoffen zijn van de tweede generatie biomassaconversie technieken, voorspelt Faaij. Bijvoorbeeld uit bomen die op gedegradeerde (zoute) gronden worden geplant teneinde verdamping van het grondwater tegen te gaan – zoals in Australië gebeurt. Daarvan zijn alleen al voor dit type bodems honderden miljoenen hectares beschikbaar. Faaij: 'De aanplant van

bomen op dit type bodems legt ook veel koolstof vast in de bodem, waardoor de netto CO₂-balans zelfs hoger dan 100 procent kan zijn.'

Scenario's

De inschattingen van het wereldwijde potentieel aan biomassa lopen sterk uiteen vanwege de verschillende aannames over verbeteringen in landbouwmanagement, technologie-ontwikkeling en de beschikbaarheid van grond, water en mineralen. Dat maakt het doen van betrouwbare schattingen ingewikkeld. Ondanks die complexiteit hebben onderzoekers toch schattingen kunnen maken van de beschikbaarheid van biograndstoffen gedurende de komende decennia. Daarbij wordt uitgegaan van diverse scenario's. Zo ontwikkelde de universiteit van Wageningen een beschikbaarheidsformule voor biograndstoffen. Die gaat uit van de totale theoretisch beschikbare hoeveelheid biomassa en vermindert deze met de hoeveelheid biomassa die waarschijnlijk niet beschikbaar zal komen vanwege belemmerende

factoren. Bijvoorbeeld omdat grondstoffen te duur zijn, de logistiek lastig is, er concurrerende toepassingen zijn (zoals veevoer bij bietenpulp) en een deel van de biomassa op het

veld moet achterblijven om de bodemvruchtbaarheid op de langere termijn te kunnen behouden. Scenario's voor de beschikbaarheid van biomassa hebben ook te maken met de vraag of de betreffende biomassa vooral lokaal en regionaal wordt ingezet of dat deze wordt opgenomen in de globale economie. Ook beïnvloedt de mate van aandacht voor ecologische duurzaamheid de beschikbaarheid van biomassa.

De voorspellingen in de eerste rapporten over biomassa van voor 2003 kwamen slecht

uit. Vooral de macro-economische analyse. Die studies gingen echter uit van productiesystemen voor biomassa die zijn ingericht voor de productie van voedsel en veevoer. Wordt de manier van landbouw bedrijven aangepast ten behoeve van de productie van gewassen voor energie, dan blijken de uitkomsten positiever. Ook waren in de eerste rapporten de optimalisering van de productie van voedsel en veevoer en het gebruik van vrijkomend bio-afval onvoldoende meegenomen. De ethanolproductie uit suikerriet in Brazilië is daarvan een voorbeeld. In dertig jaar tijd is het aantal tonnen biomassa en de productie van ethanol per hectare enorm gestegen. De omzetting van suikerriet naar ethanol bespaart nu duidelijk veel CO₂. Door alle resten van de planten te verstoffen voor de alcoholdestillatie, die energie kost, is de energie- en CO₂-balans positief geworden. Die optimalisatie-truc kan ook in Nederland en de Europese Unie worden toegepast en dat zal de komende vijftien jaar ook gaan gebeuren.

Geen succes zonder goed beleid

Factoren die biomassa tot een succes kunnen maken, liggen ook in het overheidsbeleid. Bijvoorbeeld wat doelstellingen, subsidies, belastingen en andere maatregelen betreft die bepaalde biograndstoffen een steuntje in de rug kunnen geven of juist tegenwind kunnen bezorgen. In Nederland is er bijvoorbeeld subsidie voor het gebruik van biogas voor elektriciteit door de zogenoemde co-vergisting van mest en andere biomassa. Die biomassa is dan niet meer beschikbaar voor ethanol, want daarvoor is geen subsidie. Ook worden er bepaalde grondstoffen en reststromen zoals maïs en vochtrijke voederproducten vanuit Nederland getransporteerd naar Duitsland omdat het economisch nog interessanter is ze daar aan te wenden voor vergassing tot biogas. Dat komt even-

De Nederlandse landbouw
levert veel biomassa die
onvoldoende wordt gebruikt

VRAAG 2

Waarom is er veel biomassa beschikbaar voor energieproductie?



Het bereiden van voedsel op houtvuur in Mozambique

eens vanwege een Duitse maatregel die garanties biedt voor de prijs en de afname van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Ook het overheidsbeleid rond duurzaamheid en ecologie heeft invloed op de toepassing en toepasbaarheid van biomassa. Duurzaamheidscriteria bijvoorbeeld, zullen invloed hebben op de beschikbaarheid van biomassa. Tenslotte, moet er ook gewaakt worden tegen te optimistische verwachtingen, bijvoorbeeld ten aanzien van biomassa uit de bestaande reststromen. Die zullen zeker niet allemaal beschikbaar komen voor de productie van nieuwe biograndstoffen. Want veel van die reststromen hebben al een bestemming. Al was het alleen maar als bouwmaterialen voor hutjes, meststof voor de landbouw of brandstof voor koken en verwarming. Maar dikwijls worden organische restanten aan het vee gevoerd.

Europees en Nederlands beleid

Het overheidsbeleid van de laatste tien jaar richt zich vooral op de toepassing van biomassa als energiedrager. Ook de Europese *Renewable Energy Directive*, die na drie jaar van voorbereiding eind 2008 van kracht werd, verplicht de EU-landen tot het vervangen van traditionele energiebronnen door duurzame bronnen van energie. Daarmee moet de EU zijn doelstellingen voor 2020 halen: een vermindering van 20 procent van de broeikasgasemissies, een aandeel van 20 procent hernieuwbare energie in het totale energieverbruik van de EU en 20 procent meer energie-efficiëntie. Voor Nederland betekent dat in 2020 de eis dat 14 procent van de totale energiebehoefte uit duurzame energiebronnen komt, nu is dat nog ruim 3 procent. De opgewekte windenergie op land zal dan gegroeid moeten zijn van 2.000 naar 6.000 Megawatt en die op zee van 350 naar ook 6.000 Megawatt. Windenergie zal dan goed zijn voor ongeveer een derde van de vereiste duurzame energie in Nederland. De rest moet uit andere



Politieke instabiliteit maakt oliebronnen kwetsbaar, zoals hier in Zuid-Irak.

bronnen komen, waarvan ongeveer de helft uit biomassa. Daarnaast werkt de EU aan richtlijnen die de inzet van olie, kolen en gas als grondstoffen voor de chemische industrie moet vervangen door biomassa. Daarvoor zijn nog geen doelstellingen en inspanningsverplichtingen vastgelegd. Vooralsnog krijgt de markt hier de gelegenheid het voortouw te nemen.

Er was al wel een Europese *Directive on Electricity Production from Renewable Energy Sources* die geldt tot 2010. Op grond van die richtlijn moet Nederland 9 procent van zijn elektriciteit opwekken met duurzame energiebronnen. In 2008 was dat al 7,5 procent. En er is ook al een verplichtende *Renewable Liquid Biofuels Directive* met streefwaarden, die voorschrijft dat in 2010 de transportsector 5,75 procent biobrandstoffen dient te gebruiken. Voor Nederland zou dat ook moeten, maar de nationale doelstelling werd bijgesteld tot 4 procent, omdat er onvoldoende garantie was dat de in Nederland gebruikte biomassa ook duurzaam geproduceerd kan worden. In 2009 zat Nederland op 3,75 procent. Bio-ethanol kan tot 10 procent straffeloos worden bijgemengd bij de traditionele transport-

brandstoffen op basis van aardolie. Bij hogere percentages zijn aanpassingen, bijvoorbeeld van de motor, nodig. De kosten daarvoor bedragen ongeveer 100 euro per auto.

Niet honderd procent biomassa

De drijfveren achter de Europese richtlijnen zijn de klimaatsverandering onder invloed van de uitstoot van CO₂, het verminderen van de grote afhankelijkheid van olie die voor een belangrijk deel buiten Europa wordt gewonnen en het Europese landbouwbeleid dat kansen wil creëren voor nieuwe gewassen als raapzaad en suikerbieten als leveranciers van biobrandstoffen. Zolang de toepassing van bio-elektriciteit en biograndstoffen nog niet economisch concurrerend kan zijn, zal er een stimulerend beleid moeten worden gevoerd om biograndstoffen een plaats in de economie te geven. De aardolie is even 150 dollar per vat geweest en dat heeft de inspanningen voor het toepassen van biomassa enorm gestimuleerd. Niemand weet hoe lang oliebronnen nog relatief gemakkelijk bereikbaar zullen zijn – één terroristische aanslag in Saudie Arabië zal de kwetsbaarheid van de relatief centraal gedirigeerde aardolie-winning aantonen.

Het EU-beleid is er op gericht minder afhankelijk te worden van fossiele grondstoffen en grondstoffen van buiten de EU, maar niet voor honderd procent. Biograndstoffen moeten wel zoveel mogelijk binnen de grenzen van de Europese Unie worden gevonden, maar dat zal niet volledig lukken. In Europa wonen teveel mensen per vierkante kilometer, bovendien zijn andere combinaties van klimaat en vruchtbare grond – die voor een belangrijk deel buiten de EU liggen – geschikter voor de (grootschalige) productie van biomassa. Ook komt de productie van bio-ethanol in Europa en Nederland slechts langzaam op gang. Daarom wordt de verplichte bijmenging van benzine met biobrandstof in Nederland bijna volledig gereali-

seerd door ethanol uit Braziliaans suikerriet. In Nederland zouden de benodigde hoeveelheden bio-ethanol wel kunnen worden geproduceerd uit suikerbieten, maar vooralsnog niet tegen dezelfde lage prijs als die van de Braziliaanse bio-ethanol. De Europese Unie zal dan ook niet de grenzen sluiten voor elders geproduceerde biobrandstoffen, ook al zal het beleid, mede door selectieve importheffingen en subsidies, Europese boeren stimuleren tot het produceren van biomassa voor brandstof.

Duurzaamheidscriteria

De Europese richtlijn over hernieuwbare brandstoffen bevat ook een hoofdstuk over duurzaam-

heid. Er is weliswaar een verplichting om de doelstellingen voor biobrandstoffen te halen, maar alleen met op duurzame wijze geproduceerde biograndstoffen. Het belangrijkste criterium daarvoor is dat de productie van deze brandstoffen een goede CO₂-balans moeten vertonen. Er mag dus niet meer CO₂ mee gemoeid zijn dan aan CO₂ wordt bespaard. Nu moet die reductie minimaal 35 procent zijn, voor 2017 zal de eis tot 60 procent zijn. Daarnaast mag de productie van biomassa niet ten koste gaan van de biodiversiteit. Daarvoor zijn *no go areas* geformuleerd en wel toegestane gebieden aangewezen. Biobrandstoffen worden in principe niet geaccepteerd als ze zijn verbouwd op

Ford-T op ethanol

De industriële samenlevingen, zoals Japan, de Verenigde Staten en Europa, waren tot de Tweede Wereldoorlog vooral gebaseerd op steen- en bruinkool, maar ook biomassa speelde een rol – vooral in de chemische industrie. Hout en houtskool, bijvoorbeeld. De droogdestillatie van hout (pyrolyse met een beetje lucht) leverde voor de helft houtskool op en daarnaast gas en damp. De hete damp werd opgevangen, gecondenseerd en via verschillende technieken van raffinage gescheiden in diverse producten. Destillatie

leverde bijvoorbeeld methanol (ook wel houtgeest – de *geest* van hout – genoemd) en aceton (bij velen bekend als nagellakverwijderaar). Extractie bracht houtteer op, dat veel werd gebruikt voor het waterdicht maken van boten. Andere scheidingstechnieken, zoals kristallisatie leidden tot diverse geur-, reuk- en smaakstoffen. Dit gebeurde wereldwijd. Tot in de jaren '20 en '30 van de vorige eeuw bijvoorbeeld had de Ford Motor Company in Michigan een fabriek die houtafval, dat vrij kwam bij de productie van het houten

koetswerk van de toenmalige Fords, omzette in brandbaar gas, dat in de fabriek werd gebruikt en azijnzuur, ethylacetaat (als basis voor de lak), methanol, creosoot, pek en houtskool. Rond de Tweede Wereldoorlog heeft olie het gebruik van hout en later dat van steenkool in de chemische industrie overvleugeld. Tot 1963 maakte het chemische bedrijf Dupont in de Verenigde Staten nog nylon uit furfural dat werd gewonnen uit biomassa. Pikant detail is dat de eerste T-Fords vooral op bio-ethanol reden en niet op benzine. Henry

Ford was een sterk voorstander van zelf geteelde hernieuwbare brandstoffen. De dalende benzineprijs en de Amerikaanse *drooglegging* – die van 1919 tot 1933 de consumptie, productie en het ver-

voer van ethanol verbood – vormden belangrijke belemmeringen, ook al bleef een ethanolfabriek tot vlak voor de Tweede Wereldoorlog 2000 tankstations in the Midwest bevoorraden.



Assemblage van de T-Ford in de jaren '20

97 Procent van de palmolie gaat naar bakolie, margarine en shampoo, slechts een klein deel wordt biodiesel

bosarealen groter dan één hectare of in gebieden die zijn toegewezen voor natuurbescherming, in waterrijke gebieden (*wetlands*) en graslanden met een grote biodiversiteit. In Nederland is bijvoorbeeld de Hoge Veluwe taboe. Deze duurzaamheidscriteria moeten nog verder worden uitgewerkt en in 2010 zal een lijst van criteria het licht zien. Die lijst zal ook sociaal-economische criteria rond arbeid en de gevolgen voor de lokale economie bevatten.

Het plukken van palmoliepitten in Ghana



Er is een beeld ontstaan dat de productie van gewassen voor alcohol en diesel de voedselprijzen doet stijgen – in de Verenigde Staten werd in 2009 een kwart van het geproduceerde graan ingezet voor biobrandstof in plaats van voor voedsel. Die prijsstijgingen hebben minder dan wordt gesuggereerd, te maken hebben met de omzetting tot biobrandstof. Toch moet worden voorkomen dat in sommige gebieden of sectoren situaties ontstaan waar de productie van biomassa voor energie ongewenst concurreert met die voor voedsel. In plaats dat de productie voor biobrandstoffen de voedsellandbouw in de weg zit, kan zij echter juist ook een stimulans voor voedselproductie betekenen doordat de verkoop ervan ten goede komt aan de boeren die daardoor kunnen investeren in een betere landbouw en infrastructuur. Bijvoorbeeld doordat ze kunstmest kunnen kopen. 97 Procent van de palmolie gaat op dit moment naar bakolie, margarine en shampoo. Slechts een klein deel wordt verwerkt tot biodiesel.

Omdat daarvoor een verplichting geldt, worden voor de energieproductie duurzaamheidscriteria gesteld, voor voedingsproducten is dat niet verplicht. Het zou beter zijn als duurzaamheidscriteria voor alle toepassingen van palmolie zouden gelden, zodat producenten al hun biomassa duurzaam moeten produceren. Het probleem met duurzaamheidscriteria is de handhaving van de daarvoor ingestelde regels. Daarvoor is een sterke staat in alle uithoeken van het land belangrijk. Die hebben veel landen niet. In Brazilië lijkt het nu behoorlijk goed te gaan, maar daarvoor moet vaak een moeilijke strijd worden gestreden en mensenrechtenorganisaties signaleren nog wel maffia- en slavenpraktijken in sommige landen. Hoopvolle voorbeelden zijn dat Unilever recent het contract met twee Indonesische palmoliebedrijven opzegde vanwege hun praktijken in het regenwoud en dat Shell een samenwerking met het Braziliaanse Cosan aankondigde voor de productie van 5



In Tanzania is Diligent Energy Systems een programma gestart om de teelt van *Jatropha curcas* te bevorderen

miljard liter ethanol, deels op basis van de tweede generatie technologie die gebruik maakt van de resten die overblijven na de traditionele productie van ethanol uit suikerriet.

Verantwoordelijkheid producenten

Het is goed te laten zien dat aan de vraagkant – de overheden en consumenten – beleid wordt gemaakt, bijvoorbeeld op het terrein van de duurzaamheidscriteria. Maar in toenemende mate wordt ook van de producenten zelf geëist dat ze op een verantwoorde wijze produceren. Als biomassa op een verantwoorde wijze wordt geproduceerd, is er meer ruimte om biomassa in te zetten als alternatieve brand- en grondstoffen. Het is terecht dat critici wijzen op de beperkingen die veel streken hebben voor een grootschalige productie van biomassa, zoals een tekort aan water, de aantasting van de natuur of een bedreiging van de mensenrechten. Aan de andere kant zijn er nieuwe, en

duurzamer, soms kleinschaliger, methoden van irrigatie en productie beschikbaar dan voorheen. Omdat de fossiele grondstoffen eindig zijn, kan het niet anders dan dat de mensheid op den duur grondstoffen uit biomassa nodig zal hebben. Verschillende bedrijfstakken – producenten van biograndstoffen, voedingsindustrie, de chemie en de landbouw – zullen daarvoor de handen ineen moeten slaan. Sommige landen, vooral die in Afrika, zien de biobrandstoffen ook als een kans om voor hun eigen energievoorziening onafhankelijk te worden van de import van dure aardolie en als een kans de bevolking tot ontwikkeling te brengen. De verwerkende industrie heeft zelf een code opgezet. De *Round Table on Responsible Soy Association* en de *Round Table on Sustainable Palm Oil* zijn daarvan voorbeelden.

VRAAG 3

Wat is een belangrijke motor achter het stimuleren van biomassa voor brandstof?

Dure olie en snelle technologische on



HET LEI, onderdeel van Wageningen UR, heeft een economisch wereldmodel (LEITAP genaamd) gemaakt, dat kan worden gekoppeld aan gegevens over landgebruik. Daarmee kunnen de economische wereld en de fysieke wereld met elkaar worden verbonden. Zo kan worden onderzocht wat de verandering van grondgebruik betekent voor de economie, en omgekeerd welke effecten economische veranderingen hebben op de landbouw en het grondgebruik. Factoren die in het model een rol spelen zijn werkgelegenheid (in de landbouw en in de chemie), Bruto Nationaal Product (BNP), de relatie tussen import en export, technologische ontwikkeling, de productie van granen en suikers en productprijzen. Deze zorgen voor het evenwicht in het systeem. Dat model is losgelaten op de productie van biomassa en het gebruik van

biobrandstoffen en bioproducten. Het telen van biomassa voor biobrandstof vereist uitbreiding van landbouwgrond of een intensivering van het gebruik ervan. Daarmee kunnen, directe en indirecte, concurrerende claims op eenzelfde areaal grond ontstaan. Wordt in bijvoorbeeld Frankrijk grond gebruikt voor de productie van biomassa ter vervanging van aardolie, dan betekent dat misschien dat andere producten elders op de wereld moeten worden verbouwd. Een fenomeen dat *Indirect Land Use Change* wordt genoemd.

Zo kan bijvoorbeeld het effect worden onderzocht van de richtlijn van de Europese Unie dat in 2020 tien procent van de autobrandstof duurzaam moet zijn. In de EU wordt op dit moment veel meer biodiesel geproduceerd dan bio-ethanol. Welke invloed heeft dat op de wereldprijzen? Uit het LEI-model blijkt dat de wereldprijs van oliehoudende zaden dan met 10 procent omhoog zal gaan, die van granen en zetmeelbronnen voor bio-ethanol met 6 procent en die van suiker met 2 procent. Er is dus wel invloed op de prijs, maar veel minder dan een aantal jaar geleden leek.

De olieprijs en de veronderstellingen over die prijs ten opzichte van de prijsontwikkeling van grondstoffen voor biobrandstoffen, zoals oliehoudende zaden, granen en suiker, zijn cruciaal. In 2008 ging de olieprijs omhoog, maar de voedselprijs ook. Daardoor werd biomassa alsnog niet rendabel. De productie van brandstoffen uit biomassa is, behalve in sommige delen van Brazilië, niet rendabel. De toepassing ervan wordt op dit moment dus sterk gedreven door het overheidsbeleid, zoals de EU-doelstellingen. Die Europese doelstellingen

worden alleen gehaald met de import van biomassa van buiten de EU, zoals uit Brazilië, waar de prijs wel concurrerend is. Daardoor zal de handelsbalans van de EU verslechteren.

De vraag is of door de vraag naar biomassa bossen gekapt zullen worden in Centraal- en Midden Amerika (vooral Brazilië en Argentinië). Zo ja, dan zullen de EU-doelstellingen ertoe leiden dat het verlaten landbouwareaal in de EU vermindert van 8 procent tot 4, constateert het LEI. De boeren in Zuid- en Midden-Amerika zullen meer gaan verdienen, vooral de grote boeren. De Braziliaanse president da Silva en de Europese Commissie denken negatieve effecten te kunnen vermijden, onder meer door het toepassen van duurzaamheidscriteria.

Biobrandstoffen zullen enigszins positief uitpakken voor de Nederlandse werkgelegenheid en het Nederlandse BNP, aldus de LEI-berekeningen. Alternatieven voor de eerste generatie biograndstoffen, zoals wilgen, cellulose en gras, kunnen de positie van biomassa ten opzichte van aardolie enigszins verbeteren. Voor de tweede generatie biograndstoffen is nog zeer veel technologische ontwikkeling nodig. Reststromen, een veel genoemde optie voor biograndstoffen, worden, zeker in Nederland, nu al efficiënt gebruikt. Deze inzetten voor biobrandstoffen, vermindert andere toepassingen, zoals voor veevoer. De belangrijkste factoren voor een (economisch) succesvolle inzet van biobrandstoffen zijn een hoge olieprijs, lage prijzen voor grondstoffen (oliehoudende zaden, granen en suiker) en een snelle technologische ontwikkeling.

ANTWOORD 1

Fossiele brandstoffen raken uitgeput en de prijzen ervan zullen stijgen. Biomassa kan landen minder afhankelijk maken van (in politiek gevoelige gebieden gelegen) olie. Biomassa draagt bij aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.

ANTWOORD 2

Veel plantenresten blijven onbenut op het veld liggen en er zijn veel onbenutte secundaire en tertiaire reststromen. Bovendien zijn op aarde veel marginale en braakliggende gronden die geschikt zijn voor de energieteelt.

ANTWOORD 3

Het beleid van nationale en internationale overheden. Zo heeft de Europese Unie richtlijnen voor de vervanging van fossiele transportbrandstoffen door biobrandstoffen.

De Nederlandse chemische industrie heeft zich ten doel gesteld om voor 2030 de helft van haar grondstoffen te halen uit andere bronnen dan fossiele grondstoffen.



4

Opwerkings- technieken verrijken biomassa

Maïs wordt omgezet tot bio-ethanol.

ANDERS DAN steenkool en aardolie bevat biomassa een scala aan verschillende stoffen, die een hoogwaardiger bestemming verdienen dan louter verbranden. Het uiteenrafelen van de biomassa en het afzonderlijk opwerken van de verschillende fracties is de uitdaging voor een duurzaam gebruik van biomassa. Een aantal technieken is al meer dan een eeuw oud en krijgt een nieuw jasje voor een moderne commerciële toepassing. Andere technieken zijn het laboratorium niet of nog maar nauwelijks ontgroeid en vereisen vooruitstrevende methoden als genetische modificatie. Nieuw is het nauw op elkaar afstemmen van biomassa, bewerkingstechniek en eindproduct. Dikwijls is niet langer de biomassa bepalend voor het eindproduct, maar bepaalt het gewenste eindproduct, of de verlangde combinatie van eindproducten, de keuze van biomassa en opwerkingstechniek.

**Pyrolyse en torrefactie:
indikken voor transport**

Als we biomassa beschouwen, is het belangrijk onderscheid te maken tussen biobrandstoffen als transportbrandstoffen, zoals biodiesel, bio-

ethanol en biomethanol, en brandstoffen voor de opwerking van warmte en elektriciteit. Voor de laatste toepassingen hoeft niet veel te worden gedaan, want de biomassa wordt in zijn geheel verbrand. De biomassa moet niet te nat zijn, want water brandt niet. Bovendien is het voor het vervoer van de biomassa nuttig de hoeveelheid droge stof te vergroten, door de biomassa te concentreren door haar te laten drogen of te persen. Alle (gedroogde) biomassa is geschikt om te verbranden: van gedroogde mest en bietenpulp tot pellets samengeperst hout van zaagsel en korrels vergist slachthuisafval. Maar verbranden is een laagwaardige manier om biomassa te gebruiken. Dat geldt ook voor het composteren en het vergisten van

→ **Mest wordt gedroogd in de zon om later als brandstof te dienen**



The diagram illustrates a biomass pyrolysis process. Biomass is fed into a Pyrolyse-reactor along with recycled sand. The reactor produces Pyrolyse-biogas, which goes to a Biokool-verbrander. The Biokool-verbrander also receives recycled sand and water, and produces Rookgas and Vlieggas. The Rookgas is burned in a Nabranders. The Biokool-verbrander also produces Biokoolresten + sand, which is recycled. The Pyrolyse-biogas is also used to heat a Condensor, which produces Pyrolyse-olie. The Condensor is cooled by Koel-water.

Bron: BTG BioLiquids

Het transport over weg en water en via de lucht en de chemische industrie hebben juist van die hoogwaardiger brandstoffen en producten uit biomassa nodig om hun gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen. Daarvoor zijn andere thermische technieken geschikt. Zoals

Naast vergassing zijn pyrolyse en torrefactie de meest onderzochte technieken om brandstoffen en andere producten op thermische wijze te verkrijgen uit biomassa. Pyrolyse-olie ontstaat wanneer een houtachtige biomassa onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden wordt verhit tot 400-500 °C. Bij deze pyrolyse ontstaat een dampfase die bij afkoeling condenseert tot een massa vloeibaar hout: de pyrolyse-olie. Dit geschiedt met een opbrengst van zo'n 70 procent. Zo wordt lastig te transporteren biomassa geconcentreerd in vloeibare vorm en ontdaan van vaste en niet-vluchtige bestanddelen, die overblijven als houtskool. Pyrolyse-olie kan gemakkelijk per

schip worden getransporteerd, net als aardolie, maar bevat slechts ongeveer de helft van de energie van ruwe aardolie. Pyrolyse-olie kan voor sommige toepassingen direct worden gebruikt, maar heeft meestal een of meer bewerkingen nodig voor ze net zo verwerkt kan worden als aardolie. De pyrolyse-olie kan in principe net als aardolie worden gekraakt met waterstof in een raffinaderij. Pyrolyse-olie is echter zuurder dan aardolie en bevat meer zuurstofrijke organische verbindingen en water. Daarom kan hij niet direct in de petrochemische industrie worden ingezet. Er vindt nu onderzoek plaats naar efficiënte technieken van voorbehandeling, zoals het zuurstofvrij maken via hydro-deoxygeneren, ontwateren en ontzuren.

Met pyrolyse kunnen restmassa's uit de land- en bosbouw geschikt worden gemaakt voor transport en direct gebruik. De techniek is geschikt voor kleinschalige toepassing in landen met veel biomassa, zoals Maleisië, Indonesië, Canada, de Verenigde Staten en Zuid-Amerika. De pyrolyse-olie kan lokaal worden gemaakt, regionaal worden verzameld en vervolgens met een olietanker internationaal worden getransporteerd.

Toepassing als brandstof

Pyrolyse-olie heeft ongeveer dezelfde prijs per energie-eenheid als ruwe olie, maar deze hangt sterk af van de gebruikte biomassa en de schaal van productie (ongeveer 7-12 € per gigajoule). Pyrolyse-olie is echter twee keer duurder dan aardgas. De bio-olie kan worden gebruikt voor het opwekken van warmte en elektriciteit door bijmenging in traditionele centrales. Pyrolyse-olie is ook goed inzetbaar bij de stadsverwarming in wijken van 500 tot 10.000 huizen of van zwembaden. De olie kan ook worden gestookt in gasturbines en ketelsystemen. De zure eigenschappen maken pyrolyse-olie echter ongeschikt voor particulier gebruik in huizen. In tegenstelling tot ethanol is pyrolyse-olie ook niet direct toepasbaar in auto's



en vrachtauto's. Pyrolyse-olie kan na behandeling met waterstof wel worden gebruikt als dieselolie en, tot mogelijk maximaal 20 procent, worden toegevoerd aan de traditionele aardolie-raffinaderijen. Pyrolyse is een zogeheten *icoontechnologie* waarin Nederland sterk is en de technologie is ook marktrijp. Het Enschedese bedrijf BTG Bioliq BV exporteert pyrolyse-apparatuur en pyrolyse-technologie naar plekken overal ter wereld waar biomassa is. Op het terrein van AkzoNobel in Hengelo bouwt BTG een fabriek waar 50.000 ton hout wordt omgezet in 22-25 miljoen liter olie per jaar.

Bredere toepassing

Er zijn diverse vormen van pyrolyse waarbij, afhankelijk van de soort biomassa, verschillende producten kunnen worden gevormd. De langzame pyrolyse van biomassa (bij 500 graden gedurende enkele uren) levert vooral houtskool. De gemiddeld snelle pyrolyse (bij 400 graden gedurende enkele tientallen minuten en de damp- en gasfase zeer kort (5 tot 10 seconden)) maakt optimaal

De toekomstige fabriek van BTG Bioliq in Hengelo

VRAAG 1

Waarom zijn pyrolyse en torrefactie interessante technieken?

gebruik van de eigenschappen van de biomassa en produceert specifieke moleculen. De snelle pyrolyse (bij 500 graden gedurende twee seconden) levert ongeveer 70 procent olie, 15 procent gas en 15 procent kool. De energierijke olie kan ook dienen als grondstof voor nuttige chemicaliën. Organische zuren, zoals azijnzuur, mierenzuur en fenolen kunnen er uit worden gehaald. Daarnaast ook aldehydes – kleine suikerverbindingen – die als bouwstenen voor polymeren dienen. Daarmee is pyrolyse-olie toepasbaar in de markt van chemische derivaten. Pyrolyse-olie bevat ook lijmstoffen, geschikt voor bijvoorbeeld de fabricage van spaan-

plaat, en meststoffen.

De niche voor chemische bouwstenen uit de pyrolyse van biomassa is nog beperkt. Er zijn proefprojecten voor het gebruik van pyrolyse-olie voor de

productie van azijnzuur en van *vloeibare rook*, een afbraakproduct van suikers met een rooksmaak dat wordt toegepast in barbecuesaus. Tot nu toe wordt pyrolyse-olie vooral gebruikt voor laagwaardige verbranding. Het lastige is dat de bedrijven die plastics produceren heel zuivere grondstoffen nodig hebben, terwijl de eigenschap van biomassa juist is dat je niet precies weet wat er in zit. Het zal nog een hele tijd duren voor de bioraffinage zo efficiënt is als het raffinageproces van aardolie. Maar we moeten niet vergeten dat daarmee is al ruim een eeuw ervaring is opgedaan.

Torrefactie

Torrefactie is een milde vorm van pyrolyse bij een temperatuur van 200 tot 300 °C. Water en vluchtige bestanddelen verdampen en (hemi)cellulose en lignine vallen gedeeltelijk uiteen. Wat overblijft is een vast, droog, waterafstotend en zwart materiaal – de bio-kool. De energie-inhoud van de bio-



massa is door het proces slechts licht toegenomen, maar bio-kool verpulvert gemakkelijk en kan worden verdicht door haar tot briketten te persen. De prijs van getorreficeerde biokool is dezelfde als van fossiele steenkool (inclusief de kosten voor CO₂-uitstoot). Torrefactie kan een zeer brede variatie aan lignine houdende biomassa verwerken, levert dezelfde kwaliteit als steenkool en kan, door standaardisatie van het proces, een standaardkwaliteit leveren die de kool tot een op de beurs verhandelbare grondstof *commodity* maakt. Er wordt gewerkt aan concepten waarbij een torrefactiefabriek het hout uit een gebied met een straal van z'n 15 kilometer rond de installatie rendabel kan verwerken. Voor de grotere gebieden is vooral bosbouw geschikt als leverancier voor biomassa. Torrefactie is veelbelovend, maar de opschaling van de techniek is complex en nog niet in de praktijk aangetoond. Nederland is een voorloper bij deze technologie die al vroeg is onderzocht door onderzoeksinstituten als KEMA en ECN. Er zijn in Nederland en België nu vijf grootschalige installaties in aanbouw die tussen 30.000 en 60.000 ton biokool per jaar gaan leveren op basis van restafval zoals compost en snoeihout.

Fermentatie: micro-organismen doen het werk

Een andere manier waarop grondstoffen uit biomassa kunnen worden geproduceerd zijn niet-thermische technieken. Compostering is daarvan een eenvoudig voorbeeld en levert vooral meststof en bodemverbeteraars. Bij anaerobe vergisting wordt de (natte) biomassa onder afwezigheid van zuurstof omgezet in biogas (methaan). Een andere anaerobe vergisting is de alcoholische vergisting. Daarvoor wordt al eeuwenlang bakkersgist ingezet als werkpaard. Het zet, eventueel voorbewerkte, suikerhoudende biomassa om in ethanol en koolzuurgas. Wijn, bier en brood zijn klassieke producten van deze alcoholische fermentatie. De vloeistoffen met relatief lage percentages ethanol (tot ongeveer 15 procent) kunnen door destillatie worden verrijkt tot pure alcohol. Naast anaerobe processen worden micro-organismen ingezet voor processen waarbij de aanwezigheid van zuurstof essentieel is: de aerobe vergisting. Voorbeelden van grootschalige aerobe processen zijn de productie van citroenzuur met de schimmel *Aspergillus* en de productie van het aminozuur lysine door

de bacterie *Corynebacterium*. De toepassing van micro-organismen in de fermentatie-industrie maakt deel uit van de *witte biotechnologie*. Hierbij worden geselecteerde micro-organismen, zoals gisten, bacteriën en schimmels, ingezet om hoogwaardige producten te maken uit hernieuwbare grondstoffen. De micro-organismen kunnen uit de natuur zijn geselecteerd en opgekweekt, maar ook in het laboratorium zijn verbeterd via genetische technieken (genetische modificatie).

Eerste generatie

Fermentatie betekent eigenlijk vergisting: een proces waarbij zonder zuurstof een grondstof wordt omgezet in een gistingsproduct zoals ethanol en melkzuur. In de biotechnologie heeft fermentatie een veel bredere betekenis gekregen, namelijk de toepassing van micro-organismen voor het maken van producten – ook als daar wel zuurstof aan te pas komt. Het grootste industriële fermentatieproces is op dit moment de productie van bio-ethanol door bakkersgist uit suikers (bijvoorbeeld uit suikerriet). Wanneer zetmeel (uit maïs of graan) als grondstof wordt gebruikt, wordt dit eerst met enzymen gehydrolyseerd (*opgeknipt*) tot afzonder-



← ←

De fermentatie van bier
in een brouwerij

←

Microscopische opname
van de schimmel *Aspergillus*
niger

Gen-populieren in Zeeland

Populieren van het Vlaams Instituut voor Biotechnologie (VIB) zouden in het voorjaar van 2009 naar Zeeland komen. De Vlaamse populieren zijn genetisch zo veranderd dat hun hout heel geschikt is voor de productie van papier, maar vooral ook voor de tweede generatie biobrandstof. De

onderzoekers van VIB veranderden een gen dat verantwoordelijk is voor de biosynthese van lignine. De bomen maken daardoor 20 procent minder lignine dat bovendien van een soort is dat de celluloseketens in het hout minder stevig aan elkaar kit dan gebruikelijk. Daardoor worden de suikermoleculen uit cellu-

lose beter bereikbaar voor de micro-organismen die ze moeten omzetten tot bio-ethanol. De genetisch gemodificeerde exemplaren leveren 50 procent meer bio-ethanol dan gewone populieren. Lignine geeft de bomen stevigheid en te weinig lignine zou ze wellicht doen breken in weer en wind. Vandaar dat VIB

een veldproef wilde en tegelijkertijd de productie van houtbiomassa wilde testen. Omdat de Belgische wetgever een veldproef aanvankelijk verbood, wilde VIB uitwijken naar Colijnsplaat in Zeeland. Na veel getouwtrek kwam er echter toch een vergunning om de populieren in Gent neer te zetten. Op 6 mei 2009

plantte de Vlaamse minister van Economie Patricia Ceysens daar de eerste transgene populier. Daarmee verviel de veldproef in Zeeland, waarvoor het bedrijf overigens in april 2009 een vergunning van de Nederlandse overheid had gekregen.

lijke suikermoleculen. Bij de vergisting van suiker door bakkersgist wordt de verbrandingswarmte van de suiker bijna geheel geconcentreerd in de ethanol; de rest van het suikermolecuul komt vrij als koolzuurgas. Dit is hetzelfde proces als de omzetting van de suikers in ethanol bij de bereiding van wijn en bier. Dit is de traditionele, of eerste generatie, fermentatie waarmee uit zetmeel of vrije suikers bijvoorbeeld ethanol wordt gemaakt. Inmiddels is deze fermentatie van biomassa zeer efficiënt geworden; ruim 90% van de energie die in het zetmeel of in de suiker aanwezig is, komt uiteindelijk in de ethanol terecht. Dit komt zowel door betere technieken om de suikers vrij te maken uit de biomassa (de hydrolyse) als door de selectie en verbetering van de soorten gist die worden gebruikt voor de omzetting van suikers in ethanol. Wel is voor het concentreren van ethanol uit water nog een hoop energie nodig. De destillatietechnologie is geoptimaliseerd, maar kost toch nog ruim 20 procent van de energie die oorspronkelijk in de suiker aanwezig was. Integratie van deze destillatie met de opwekking van elektriciteit

waarbij restwarmte vrijkomt, kan de energiekosten verminderen.

Tweede generatie

De tweede generatie fermentatie richt zich op het vrijmaken van suikers uit de minder toegankelijke delen van de plant, zoals stengels en bladeren. Die zitten verankerd in cellulose en hemicellulose. Daarvoor zijn specifieke enzymen nodig. Bovendien is een deel van de suikermoleculen van een ander type, pentoses in plaats van hexoses, dat niet door gist kan worden omgezet. Daarvoor worden nieuwe typen gist in elkaar gesleuteld. Deze micro-organismen dragen niet alleen de genen bij zich voor de enzymen om hexoses om te zetten in ethanol, maar ook voor enzymen die hetzelfde doen met de pentoses en zelfs voor enzymen die zetmeel en (hemi)cellulose kunnen afbreken (cellulases).

Gist kan in de klassieke ethanolproductie alcohol uit maïs maken tot een maximum van 20 procent. Bij hogere percentages wordt de werking van zelfs de industriële *supergisten* geremd. Bij

VRAAG 2

Waarom is fermentatie interessant?

de fermentatie van tweede generatie biomassa's ontstaan azijnzuur en andere chemische verbindingen die ook de werking van gist remmen. Dat leidt tot een minder hoog alcoholpercentage. Veel onderzoek richt zich op het creëren van zeer robuuste micro-organismen, die ook bij zulke omstandigheden 20 procent ethanol produceren.

Nieuwe gisten

De complexiteit van genetische ingrepen die routinematig in het laboratorium kunnen worden gedaan, is enorm groot geworden. Er kunnen grote DNA-fragmenten worden gesynthetiseerd en ingebouwd in genetische constructen die in micro-organismen kunnen worden gezet. In het verleden

waren onderzoekers al heel blij als ze één gen gericht tot expressie konden brengen in een micro-organisme, zoals gist. Nu kan dat wel met twintig genen tegelijkertijd. Het aanpassen van micro-organismen aan

Het aanpassen van micro-organismen aan gewenste specifieke omstandigheden gaat steeds sneller

gewenste specifieke omstandigheden gaat steeds sneller. Zo kan men met behulp van geautomatiseerde kweektechnieken in sneltreinvaart komen tot een micro-organisme met nieuwe, voor de industriële toepassing belangrijke eigenschappen. Bijvoorbeeld het in grote hoeveelheden maken van stofwisselingsproducten die ze van nature niet of nauwelijks maken.

Slim gebruik biomassa: op zoek naar goud

'We zijn een nieuwe fase ingegaan waarin de biobrandstoffen een onderdeel zijn geworden van de transportbrandstoffen en dienen ter vervanging

van benzine en diesel. Historisch gezien is dat een stap terug naar bijna een eeuw geleden', zegt Jack Pronk, hoogleraar Industriële Microbiologie aan de TU Delft. Pronk doelt daarmee op de eerste T-Fords die in het begin van de vorige eeuw vooral op ethanol reden. De klassieke bio-ethanol van de eerste generatie uit maïszetmeel en rietsuiker heeft de afgelopen decennia een geweldige ontwikkeling doorgemaakt. De efficiëntie van het proces is sterk vergroot en de vergisting met behulp van bakkersgist is enorm verbeterd. Toch zal die eerste generatie biobrandstoffen niet de toekomst zijn, vanwege het ervoor noodzakelijke landgebruik en het type gewas dat direct concurreert met de voedselvoorziening. De toekomst zal komen van doorbraken in de toepassing van de tweede generatie biobrandstoffen. De typen micro-organismen die voor de fermentatie worden gebruikt zullen worden uitgebreid en daarmee ook het grondstoffenpakket dat kan worden gebruikt als basis voor biobrandstoffen. Maar vooral zal de biomassa van de tweede generatie in combinatie met nieuwe micro-organismen verschillende typen moleculen tevoorschijn laten komen uit het vergistingsproces.

Dat zullen niet alleen moleculen zijn die kunnen dienen als transportbrandstof, maar vooral ook moleculen die kunnen worden ingezet in de chemie. Waar bij transportbrandstoffen nog aan alternatieven (bijvoorbeeld elektriciteit of waterstof uit kernenergie of zonne-energie) kan worden gedacht, is het voor een *biobased* productie essentieel om duurzame alternatieven te vinden voor de chemische productie. De chemische industrie draait nu voor een belangrijk deel op fossiele brandstoffen. Ongeveer tien procent van de op aarde geproduceerde fossiele brandstoffen dient als invoer voor de chemische industrie. Uit aardolie, steenkool en gas worden bulkchemicaliën als ethyleen, propyleen, caprolactam, azijnzuur en methanol gemaakt. Deze dienen als chemische

Gewas als
groene
grondstof

Plantencellen

Plantencelwand
(macrofibril)

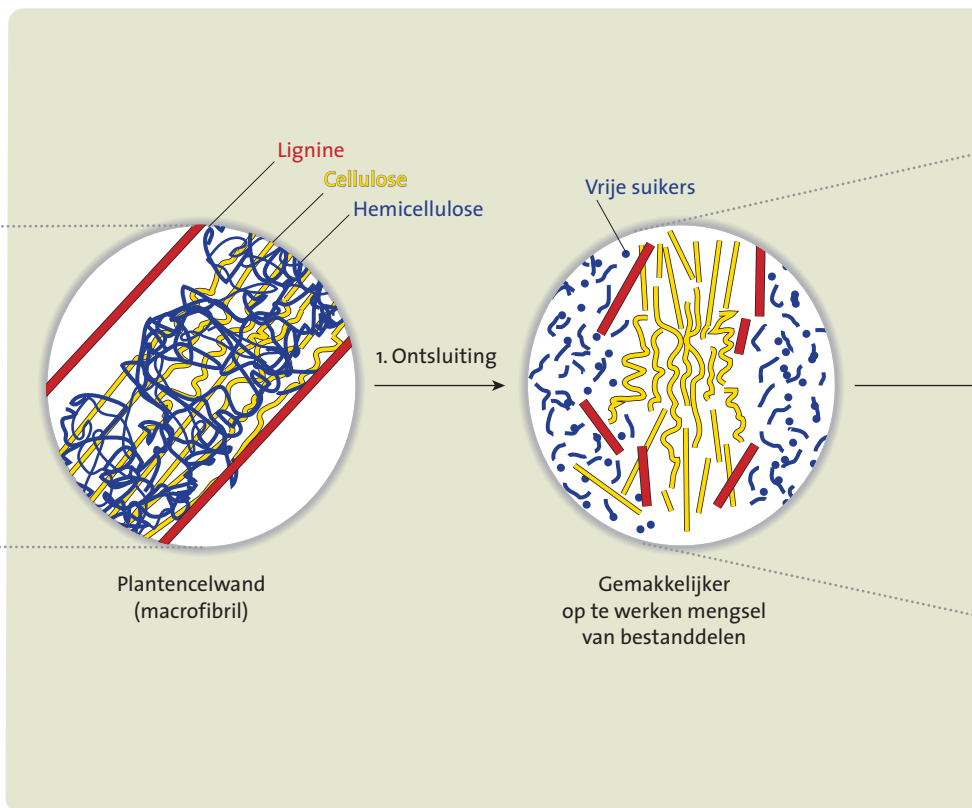
Cellulose
microfibril

Stukje van een
cellulosemolecuul

β -Glucose-
monomeer

Bron: <http://genomics.energy.gov>

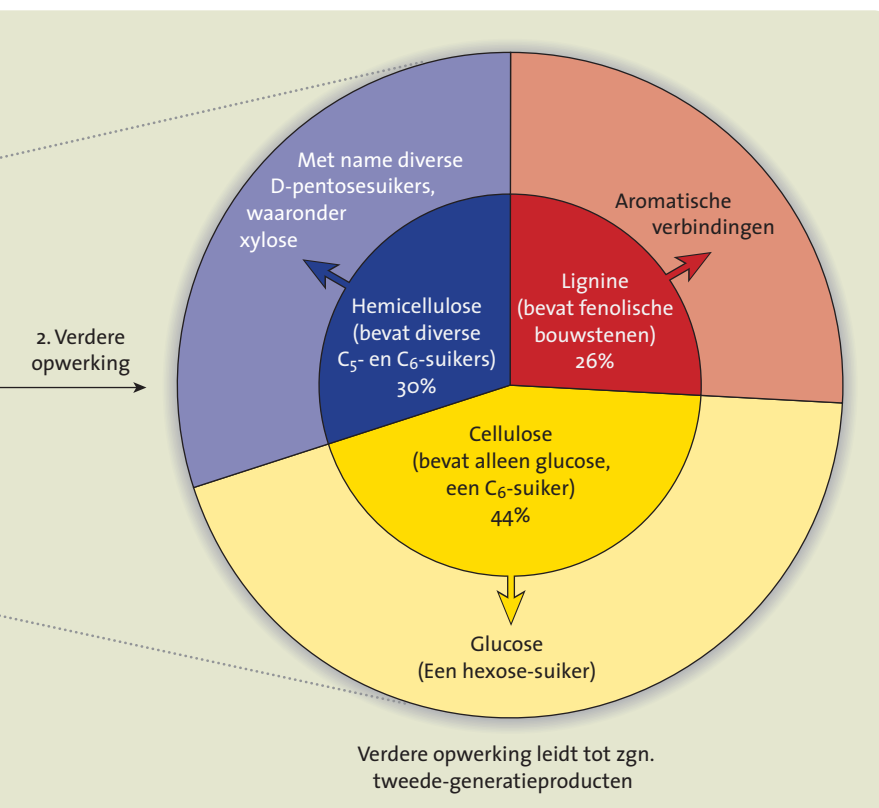
Plantencelwand als bron van groene grondstoffen



bouwstenen voor talloze producten – van plastics tot geneesmiddelen. De Nederlandse chemische industrie heeft zich ten doel gesteld om voor 2030 de helft van haar grondstoffen te halen uit andere bronnen dan fossiele grondstoffen. Andere landen, zoals Canada en de Verenigde Staten, noemen percentages rond 30 procent.

Bioraffinage

Het is zonde om restanten van voedselgewassen en andere gewassen die op het veld hebben gestaan te verbranden voor elektriciteit en warmte. Dat



Ook celwanden van planten bevatten interessante bouwstoffen die met enige moeite kunnen worden vrijgemaakt ('ontsloten') om verder te kunnen worden opgewerkt.

is immers de meest laagwaardige toepassing van biomassa. Planten hebben zoveel meer te bieden. Vergassen, pyrolyseren en fermenteren tot transportbrandstoffen of chemicaliën is al een hoogwaardiger toepassing van biomassa. Maar er is meer. Gebruik maken van de specifieke moleculen die de plant maakt, is een nog betere optie. Bijvoorbeeld eiwitten of bijzondere aromatische moleculen. Er is echter geen plant die alleen maar gewenste moleculen maakt. Gemiddeld kan biomassa 20 procent van de gewenste hoogwaardige moleculen leveren, 40 procent transportbrandstof

en 40 procent moet alsnog worden verbrand als ontoegankelijk materiaal. Daarom is het verstandig de biomassa te scheiden in verschillende fracties.

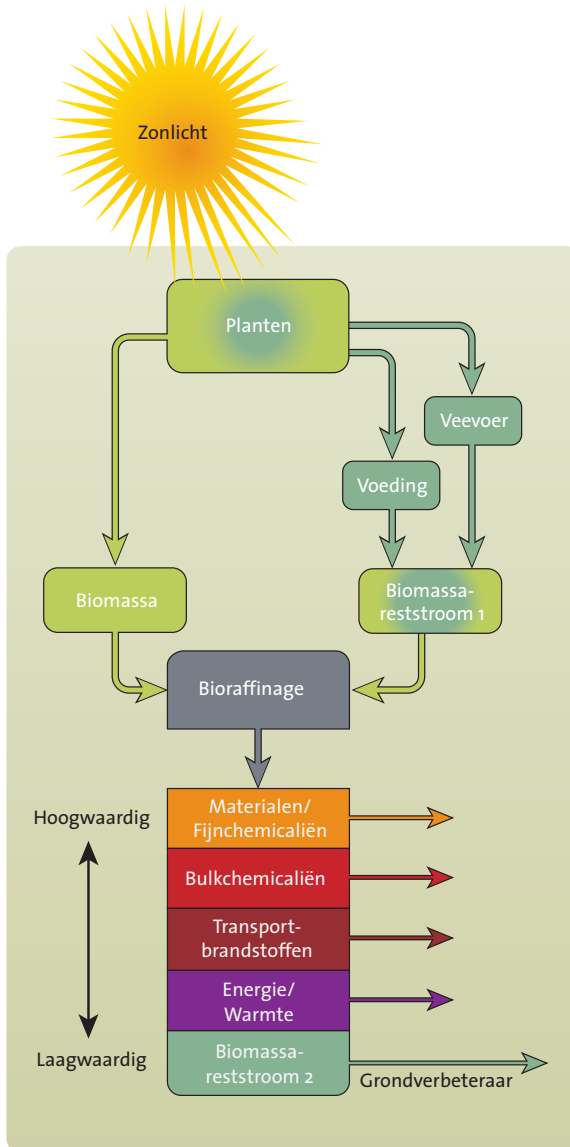
Deze bioraffinage levert diverse stromen op die sterk kunnen verschillen in hoeveelheid en economische waarde. Het gaat dan om moleculen met stikstof en zuurstof die in redelijke hoeveelheden geproduceerd kunnen worden. De 20 procent hoogwaardige moleculen kunnen moleculen zijn waarvoor de industrie bereid is 1.500 euro per ton te betalen, maar ook 2.500 euro. Het gaat dan om moleculen die in hoeveelheden van 1 tot 10 miljoen ton per jaar geproduceerd kunnen worden en bruikbaar zijn in de chemie. Voorbeelden zijn acrylaat, acrylamide, acrylonitril, ethylamine, butaandiol, diamminobutaan en -ethaan, aniline, styreen, ureum en succinaat (barnsteenzuur). Vaak zijn ze afkomstig uit resteiwitten die vrijkomen bij de productie van transportbrandstoffen. Ook glycerol, dat overblijft bij de productie van biodiesel, is een voorbeeld. Daar kunnen uiteindelijk PET-flessen van worden gemaakt.

Het idee van de bioraffinage is dat uiteindelijk alle onderdelen van de plant worden gebruikt en er geen restanten meer overblijven. Zelfs mineralen als kalium en fosfaat worden hergebruikt. Een voorbeeld is de productie van bioethanol en biodiesel. Daar komen reststromen vrij die eiwitten, fosfaat, kalium en lignocellulose – een complex en vooral taai netwerk van (hemi)cellulose en lignine – bevatten. De reststromen worden aan de varkens gevoerd, die vervolgens het fosfaat, het kalium en de onverteerde lignocellulose in de mest uitscheiden. Als deze mineralen echter van te voren uit de eiwitfractie worden gehaald voor deze aan de varkens wordt gegeven, en de lignocellulose wordt ingezet om bijvoorbeeld elektriciteit te maken of later als grondstof voor tweede generatie ethanol wordt ingezet, is de mest minder belastend voor het milieu. Het fosfaat kan worden hergebruikt

omdat fosfaat (als kunstmest) een schaars goed is. Als het kalium uit het veevoer blijft, wordt de mest die de varkens uitpoepen geconcentreerder en gemakkelijker te transporteren. De glycerol, die als reststroom bij de productie van biodiesel vrijkomt kan worden omgezet in bijvoorbeeld

1,3-propaandiol, als bouwsteen van PET-flessen. Er kan ook worden besloten om niet alle eiwitten aan de varkens te geven, maar alleen de essentiële aminozuren die de varkens zelf niet kunnen maken. De aminozuren die dan over blijven kunnen ook worden ingezet als bouwstenen voor chemische producten. Voor de varkens betekenen minder kalium, fosfaat en eiwit in het dieet, een hoogwaardiger voer en ook minder mest.

Biomassa kan door middel van bioraffinage worden gescheiden in verschillende fracties. De verschillende stoffstromen die dit oplevert (moleculen die stikstof en zuurstof bevatten), kunnen sterk verschillen in hoeveelheid en economische waarde.



VRAAG 3

Wat is het voordeel van bioraffinage?

Witte biotechnologie

Een dergelijke omslag kan worden bereikt via de witte biotechnologie. Daarbij wordt een hernieuwbare grondstof (zoals suiker, of de glycerol die overblijft bij biodieselproductie) vergist door bacteriën, gisten of schimmels. Dit proces vindt plaats in een fermentor, een industriële vergistingstank. De micro-organismen fungeren als kleine chemische fabriekjes die iets moois maken van de beschikbare grondstof. Een andere route voor de productie van nuttige chemische bouwstenen is planten ertoe aan te zetten deze rechtstreeks te maken. En dan vooral die planten die toch al worden geraffineerd, bijvoorbeeld voor de productie van de suiker. Suiker die ook weer door de witte biotechnologie kan worden gebruikt, zoals voor de productie van ethanol. In die dubbele doelstelling moet de productie van chemische bouwstenen een meerwaarde in de productieketen creëren. Een voorbeeld van chemische bouwstenen zijn de bacteriële polymeren die worden gebruikt in afbreekbaar plastic (polyhydroxyalkanoaten, zoals polyhydroxybutyraat). Die kunnen door bacteriën uit plantensuikers worden gemaakt, maar ook rechtstreeks in suikerproducerende planten worden geproduceerd. Voor dat laatste moeten planten genetisch worden veranderd.

Naast het traditionele gebruik van gewassen voor voeding, diervoeder en bepaalde materialen, komen er nu twee belangrijke markten bij: energie en chemicaliën. Daarbij is de vraag cruciaal welke

moleculen de boer, of de afnemer, het liefst wil maken om zoveel mogelijk economisch voordeel te behalen en welke gewassen daarvoor het meest geschikt zijn. Bedrijven zijn de vormgevers van innovatie en de drijvende kracht achter de noodzakelijke omschakeling van een *fossil based economy* naar een *bio based economy*. Daarom moeten uit biomassa producten zijn te halen die passen in de binnen de industrie bestaande procesketens. Als vuistregel geldt dat de exploitatie van planten alleen haalbaar is als tien tot twintig procent van het drooggewicht van de plant bestaat uit de verlangde component of erin kan worden omgezet. Om die doelstelling te bereiken, valt er voor de meeste chemische bouwstoffen nog heel wat werk te verzetten. Daarbij richt de aandacht zich op dit moment op de fermentatie van biomassa tot barnsteenzuur (succinaat), melkzuur en itaconzuur (methyleenbarsteenzuur). Itaconzuur, dat verwant is aan citroenzuur en de basis is voor veel hoogwaardige polymeren, wordt geproduceerd door bepaalde schimmels. Onderzoekers van Wageningen Universiteit en Researchcentrum zijn erin geslaagd de genen die daarvoor nodig zijn vanuit die schimmel over te zetten in aardappelen, zodat de aardappelplant een bron van itaconzuur wordt.

Diverse drempels

Er is ook een groep van aminozuren die is te verkrijgen uit knollen en wortels, zoals lysine en glutaminezuur. Er zijn bacteriën die zulke aminozuren produceren uit plantenmateriaal, maar het is ook mogelijk de planten dermate genetisch te veranderen dat ze zelf bijvoorbeeld veel lysine en glutaminezuur maken. De planten blijven dan eetbaar en zijn tegelijkertijd interessant voor de chemie. Een andere stof waarvan de genen met succes vanuit de bacterie *E. coli* in tabaksbladeren zijn gezet is para-hydroxybenzoëzuur, een bouwsteen voor vloeibare kristal-polymeren. Uit para-hydroxybenzoezuur is in principe ook fenol te



produceren, een stof met een jaarlijkse productie van meer dan 8 miljoen ton. Ook zijn er bacteriën die interessante polymeren kunnen maken, zoals cyanophycine. Dat kan dienen als basis voor super absorberende polymeren, en polyhydroxy-alkanolaten, die op grote schaal worden ingezet in plastic flessen, containers, films en vezels. Dergelijke polymeren kunnen ook in planten worden gemaakt, bij voorkeur in de bladeren. Daarin zitten chloroplasten die een vergelijkbare fysiologie als bacteriën hebben en zo uitstekend geschikt zijn om deze bacteriële polymeren te maken.

Bij deze niet-thermische winning van chemische bouwstenen uit biomassa zijn nog de nodige drempels te nemen. De verwachting is dat de komende tien tot twintig jaar een aantal ontwikkelingen binnen de toelevering aan de chemische industrie zal plaats hebben. Zo zullen relatief goedkope verbindingen, zoals ethyleen en propyleen, vooral uit de nafta van de petrochemische industrie blijven komen en wellicht ook direct worden gemaakt uit suiker of alcoholsuikers. Chemische stoffen die in slechts kleine volumes

Een belangrijke component van PET-flessen kan in de toekomst worden gemaakt uit glycerol, een restproduct van de productie van biodiesel

Witte biotechnologie bij DSM

DE NEDERLANDSE multinational DSM is een voorbeeld van een bedrijf dat steeds transitieën doormaakt wat de gebruikte grondstoffen betreft. Ooit gegrondvest op de input van steenkool uit de Nederlandse Staatsmijnen (DSM stond voor *De Staats Mijnen*) voor de productie van ammoniak voor kunstmest, werd – mede door de opkomst van aardolie en de op handen zijnde sluiting van de mijnen – de aandacht verlegd naar kunststoffen en kunstvezels op basis van verbindingen uit de petrochemische industrie. Tot eind jaren '90 van de vorige eeuw volgden een diversificatie van producten en een toename van het aantal *specialties*. Met de overname van Gist-brocades in 1998 zette zich een *verbiologisering* van DSM in. Zowel wat producten betreft (vitaminen, voedingsproducten, anti-infectiemiddelen, biopolymeren) als wat productietechnieken betreft (gebruik van micro-organismen en enzymen). De volgende, voorzichtige, omslag die nu gaande is, is de vervanging van petrochemische grondstoffen door biograndstoffen. Een logisch gevolg van DSM's betrokkenheid bij duurzaamheid en maatschappelijke ontwikkelingen, zetten Marcel Wubbolts (programmamanager) en Volkert Claassen (vice president) van DSM White Biotechnology BV uiteen.

Wegwerpbekers zijn één van de mogelijke toepassingen van door DSM geproduceerde biograndstoffen



Volkert Claassen: 'Het gebruik van biograndstoffen voor chemische bouwstenen, de witte biotechnologie, is een van de opkomende technologieën waarbij DSM twee belangrijke competenties – de *life-sciences* en de chemie & materialen – kan combineren. *Biobased* grondstoffen kunnen tot hoogwaardige producten leiden. Niet alleen producten voor voeding, ook producten die nu vaak in grote hoeveelheden uit olie worden gemaakt.'

Marcel Wubbolts: 'Het gaat om het vermijden van belemmeringen en het grijpen van kansen. Producten uit de landbouw die wij inzetten, mogen bijvoorbeeld uiteindelijk niet concurreren met voedsel. Voeding is geen afval. Wij willen dus op termijn hiervoor alleen restproducten die niet als voeding kunnen worden ingezet, gebruiken. Bijvoorbeeld door lignocellulose af te breken. Dat geschiedt in de natuur heel

langzaam. Wil je lignine kunnen gebruiken, dan moet je de biomassa chemisch en fysisch voorbehandelen en zeer gespecialiseerde micro-organismen toepassen bij de vergisting.'

Volkert Claassen: 'Dat is een ontwikkelingsproces dat jaren zal duren. We zijn nu bezig met de eerste commercialisering van barnsteenzuur, maar dat gaat nog wel op basis van zetmeel. Het verzamelen van afval is in de meeste regio's op aarde nog niet van de grond gekomen. Barnsteenzuur is onder andere een smaakversterker en een chemische bouwsteen

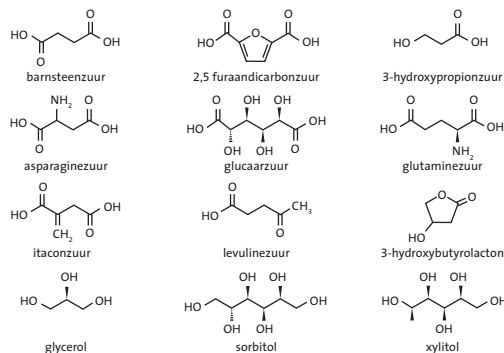
Top-12 moleculen voor de bulkchemie

voor andere moleculen en voor biopolymeren. Dat is interessant voor ons omdat we een grote markt voor *biobased* producten verwachten en we die daarmee efficiënter kunt produceren. Als DSM hebben we niet veel ervaring met agro, dus werken we samen met bedrijven die dat wel hebben. Zoals het Franse zetmeel(derivaten)bedrijf Roquette Frères. Dat bedrijf raffineert op klassieke wijze het zetmeel uit tarwe en maïs, maar zou dat ook uit aardappelen kunnen. We hebben onze sterktes bij elkaar gebracht in een agro-chemo-project dat in 2010 al 100-300 ton barnsteenzuur moet opleveren, maar is gericht op duizenden tonnen. Wij stellen onze innovatieve kennis ter beschikking. Zowel binnen andere sectoren van DSM als aan externe klanten. Dat zijn nieuwe soorten van (partner)samenwerking.'

Amerikaanse onderzoekers hebben een top-12 opgesteld van moleculen die kunnen worden gemaakt uit plantensuikers en interessant zijn als chemische bouwstenen voor de industrie. Vergelijkbare moleculen worden nu gewonnen bij het kraken van aardolie in de petrochemische raffinage.

er een extra chemische omzetting nodig is of doordat een bouwsteen op een andere plaats binnenkomt in het in de chemische industrie gebruikte productieproces. De meeste van de top-12 moleculen worden geproduceerd uit vergisting en enzymatische omzettingen van biomassa. Maar ook door thermische omzetting. Via milde pyrolyse kan bijvoorbeeld een meer ingewikkeld molecuul als furfural worden gewonnen dat als basis kan dienen voor de productie van harsen, geurstoffen en impregneermiddelen. Vroeger werd furfural uitsluitend uit biomassa gemaakt, maar nu kan het goedkoper uit aardolie. Daarom hangt het succes van deze top-12 moleculen, behalve van de bereidheid van de chemische industrie zijn processen aan te passen, sterk af van de prijs van de aardolie.

Top-12 moleculen



Een aantal van de top-12 moleculen kan direct worden ingezet als vervanger van de petrochemische grondstof. Voor andere zijn er – geringe – aanpassingen van het industriële proces vereist. Bijvoorbeeld doordat

Sleutelen aan planten en ééncelligen

DOOR DE toename van het gebruik van brand- en grondstoffen uit biomassa zal waarschijnlijk ook het gebruik van genetisch veranderde organismen toenemen. Daarbij gaat het om het genetisch veranderen van planten met hogere opbrengsten, die geschikt zijn om te groeien op marginale en zilde gronden en droge gebieden en die stoffen maken die ze van nature niet maken of in onvoldoende hoeveelheden. Genetische modificatie zal ook een hoge vlucht krijgen bij een toename van de tweede en derde generatie biograndstoffen. Bijvoorbeeld om de fermentatie door bakkersgist van suikers tot alcohol te verbeteren of om gist en andere micro-organismen te maken die moeilijk afbreek-

bare moleculen in planten omzetten in nuttige stoffen.

Genetici kennen inmiddels een flink aantal manieren om de genen zo te veranderen dat stoffen op een bepaalde plek in de plant of op een vastgesteld tijdstip worden geproduceerd, ook al zijn er soms nog wel verrassingen. De genetische modificatie ten behoeve van producten die gebruikt kunnen worden in de chemie, staat nog relatief aan het begin. Er zijn diepgewortelde emoties tegen genetische modificatie van planten. De weerzin tegen het *voor God spelen* is daarvan een uiting, maar ook de vrees dat genetisch veranderde planten zullen kruisen met natuurlijke soortgenoten, zodat het kunstmatig ingebrachte gen zich onder wilde varianten zal verspreiden en hun eigenschappen verandert. Ook is er angst dat genetisch gemodificeerde rassen andere varianten zullen verdringen. Als genetische modificatie niet voor voedingsgewassen wordt ingezet en vooral is gericht om de hoge energieprijzen te omzeilen, zal zij ook in Europa nieuwe kansen kunnen krijgen.

Verantwoord omgaan met genen én honger

Er zijn tot nu toe geen aanwijzingen dat genetisch gemodificeerde rassen hun ingebrachte genen kwistig in het rond strooien. 'Natuurlijk moeten we ons als wetenschappers afvragen of genetische modificatie van planten nieuwe problemen creëert ten aanzien van bijvoorbeeld diversiteit en ecologie', zegt Andries Koops, onderzoeker bij Plant Research International van Wageningen UR. 'Het is ook onze verantwoordelijkheid daarover te discussiëren, te bezien waar we nu staan en afwegin-

Aanmoediging van het gebruik van genetisch gemanipuleerde maïs in Brazilië



gen te maken. Als wetenschapper wil ik op een verantwoorde manier omgaan met diverse maatschappelijke problemen: klimaatverandering, voedselvoorziening voor een groeiende wereldbevolking en toenemende welvaart. Plantenveredeling is daarin essentieel, een *core technology*. Bijvoorbeeld bij onderzoek naar de functies van genen. Met genetisch gemodificeerde organismen kunnen we echt dingen doen die we met de klassieke veredeling niet kunnen. En niet alleen het veel sneller verbeteren van gewassen. Gezien de toenemende behoefte aan voedsel, hernieuwbare energie en chemiegrondstoffen vind ik het onethisch om belangrijke instrumenten, zoals genetische modificatie, te laten liggen.'

Genetisch veranderde ééncelligen

Genetisch veranderde micro-organismen in de fermentatie, zoals de alcoholvergisting, stuit op minder bezwaren. Zulke organismen komen immers niet in de voedselketen terecht en kunnen opgesloten blijven in de bioreactoren. De genetische modificatie kan wel een probleem zijn bij het verwerken van het afval van die vergisting. Nu dient dat vaak als varkensvoer, maar de vraag is of dat bij genetisch gemodificeerde gist nog steeds het geval kan zijn. Overigens heeft dit soort micro-organismen geen kans in de natuur. Dat een bakkersgist bijvoorbeeld isoprenoïden maakt, zit de ééncellige alleen maar in de weg in de concurrentie met wilde soortgenoten. Die functie zal in de natuur snel verloren gaan. Er zijn al talloze voorbeelden van het grootschalige gebruik van genetisch gemodificeerde organis-

men, zoals voor de productie van geneesmiddelen en industriële enzymen. Een Europees maatschappelijk debat over de grootschalige toepassing van dit soort genetisch veranderde micro-organismen voor brandstoffen en andere producten uit biomassa, is daarom onwaarschijnlijk. In de Verenigde Staten en China zal die discussie in elk geval niet snel worden gevoerd.

ANTWOORD 1


Beide kunnen moeilijk transporteerbare biomassa, doordat deze bijvoorbeeld veel water bevat of onhandelbaar is, geschikt maken voor vervoer over grotere afstanden. Bovendien kan pyrolyse interessante moleculen vrijmaken uit de biomassa.

ANTWOORD 2

Met fermentatie kan niet alleen ethanol worden gemaakt, door de inzet van nieuwe ontsluitingsmethoden en nieuwe (genetisch veranderde) micro-organismen ook allerlei andere moleculen die geschikt zijn voor toepassing in de industrie.

ANTWOORD 3

Bioraffinage maakt het mogelijk uit biomassa verschillende bestanddelen te halen en die afzonderlijk verder te verwerken en te verkopen. Dat vergroot de economische waarde van de biomassa sterk.



De landbouwproductiviteit is de laatste decennia toegenomen door het in gebruik nemen van meer goede gronden en een groter en beter gebruik van water. Maar hoe houden we tegelijk het lokale welzijn in stand?

Niet louter rozengeur en maneschijn

Suikerriet is één van de voedselgewassen die ook gebruikt wordt als biograndstof.

Biomassa is een ideale en onuitputtelijke bron voor zowel brandstoffen als chemicaliën. Toch is de inzet ervan niet onomstreden. Levert het gebruik van biomassa wel de verwachte vermindering van broeikasgasen? Wat zijn de gevolgen van een energieteelt op grote schaal voor de prijs van voedingsgewassen, het gebruik van landbouwareaal en de biodiversiteit? En hoe kan worden voorkomen dat arme boeren en kwetsbare lokale economieën worden weggevoerd door grote bedrijven en internationale handelaren? *Small is beautiful* tegen *big business*. De productie van biomassa moet daarom goed begeleid worden om te voorkomen dat er ongewenste effecten ontstaan op de voedselproductie, het milieu en de sociaal-economische omstandigheden van kleine boeren. Zonder flankerend beleid, geen duurzame biomassa.

Voedsel als brandstof en brandhaard

Er zijn veel goede redenen om biomassa te gebruiken voor de productie van energie en industriële producten. Maar er zijn ook redenen daar voorzichtig mee te zijn. Een belangrijk punt van discussie is de concurrentie van energiegewassen

met voedselgewassen. Een kwart van het Amerikaanse graan en maïs bijvoorbeeld, werd in 2009 gebruikt voor de productie van bio-ethanol. Met die 107 miljoen ton hadden ook 330 miljoen mensen gevoed kunnen worden, een derde deel van het totaal aantal ondervoede mensen op aarde. In 2007 was in Mexico de tortilla-crisis omdat de prijs van tortilla's snel zou zijn gestegen doordat de Verenigde Staten grote hoeveelheden maïs inzetten voor ethanol in plaats van het als voedsel op de markt te brengen. 'Die concurrentie tussen voedingsgewassen en gewassen voor biograndstoffen is er op dit moment ontegenzeggelijk. Maar die concurrentie wordt ook overdreven', zegt Louise Fresco, universiteitshoogleraar aan de Universiteit van Amsterdam.

Indertijd was er wel een kleine invloed op de prijs van maïs door de inzet van maïs voor ethanol, maar de prijsstijging kwam vooral door een slecht beleid van de Mexicaanse overheid. Mexico kocht goedkoop maïs in de Verenigde Staten en legde daarop een importheffing om de lokale prijs hoog te houden. Toen de maïsprijzen omhoog gingen – vooral doordat de oogsten in Australië slecht waren – handhaafde de Mexicaanse regering de importheffing. Het gevolg daarvan was dat producenten van vlees, dus de grote veeboeren, op de



In 2007 gingen Mexicanen de straat op om te protesteren tegen de hoge voedselprijzen

lokale Mexicaanse markten gingen inkopen, waardoor de lokale prijs steeg. Van een andere geliefde grondstof voor de productie van ethanol, rietsuiker, is de wereldprijs de afgelopen jaren nauwelijks gestegen, en die van rijst steeg wel flink, terwijl daaruit geen biobrandstoffen worden gewonnen.

Hongerige monden vullen

Dat met de vele miljoenen tonnen voedselgewassen (knollen, bieten, graan, maïs, oliepalmen en suikerriet) die nu gebruikt worden voor de productie van transportbrandstof ook hongerige monden zouden kunnen worden gevuld, valt niet te ontkennen. Maar die twee rechtstreeks met elkaar in verband brengen, bestempelt Fresco vooral als demagogie. 'Er is voldoende voedsel op de wereld voor negen miljard mensen in 2050. Overigens ook zonder de toepassing van biotechnologie. En de voedingssituatie op aarde verbetert ook.' Dat wil niet zeggen dat er op lokaal niveau geen discussies over de concurrentie van brandstoffen met voedingsproducten zullen blijven. Dat er honger is in de wereld heeft veel meer te

maken met gebrek aan onderwijs, infrastructuur en leiders die hun eigen portemonnee belangrijker vinden dan het welzijn van hun bevolking. In de tijd dat er landbouwoverschotten waren, ging het niet beter met de honger in de wereld. Sterker, met subsidie van overheden werden overschotten gedumpt tegen zeer lage prijzen, wat de lokale voedselproductie om zeep hielp. Dat gebeurde bijvoorbeeld met Europees voedsel in Afrika en met Amerikaanse landbouwproducten in Mexico. Het voeden van hongerige monden is dan ook vooral een vraag hoe voedsel op de juiste plek komt en hoe het wordt gebruikt. Veel voedingsgewassen worden bijvoorbeeld ingezet als veevoer in plaats van voor menselijke consumptie. Van de twee miljard ton graan die jaarlijks wereldwijd wordt geproduceerd, gaat de helft naar het vee. Voor de productie van één kilo vlees heeft een kip 2,5 kilo graan nodig, een koe zelfs zeven kilo. Want meermagige dieren, zoals koeien en schapen, zetten graan minder efficiënt om dan éénmagige dieren, zoals kippen en varkens. Gemiddeld is voor één kilo vlees ongeveer vier kilo graan nodig. Van elke vier kilo graan verdwijnen er drie voor de stofwisseling en het onderhoud van het dier en voor de vorming van nageslacht. Om de honger van de 1,1 miljard mensen op aarde te lenigen, is zo'n 150 miljoen ton graan nodig – voor elke ondervoede persoon iedere dag ruim een kwart kilo graan extra. Dit geeft in een notendop weer dat het voedsel- en hongervraagstuk niet zozeer een probleem is van de productie van voedsel, maar vooral een kwestie van economie en verdeling. Vlees legt wat de voedingsenergie betreft dus ook een veel groter beslag op landbouwareaal dan voedingsgewassen.

Belang eerste generatie

De discussie over concurrentie tussen de productie van biomassa voor voedsel en voor energie is ingewikkeld. Sommigen zeggen dat je beter

VRAAG 1

Hoe kan worden voorkomen dat energieteelt concurreert met teelt voor voedsel?

energie kunt maken uit gewassen die je niet kunt eten, zodat er geen gevaar voor concurrentie met voedsel is. De vraag is of dat wel verstandig is: ook voor de teelt van een gewas dat niet kan worden gegeten is landbouwgrond nodig. Beter is het om gewassen te telen die kunnen dienen als basis voor zowel voedsel als biobrandstoffen. Dus

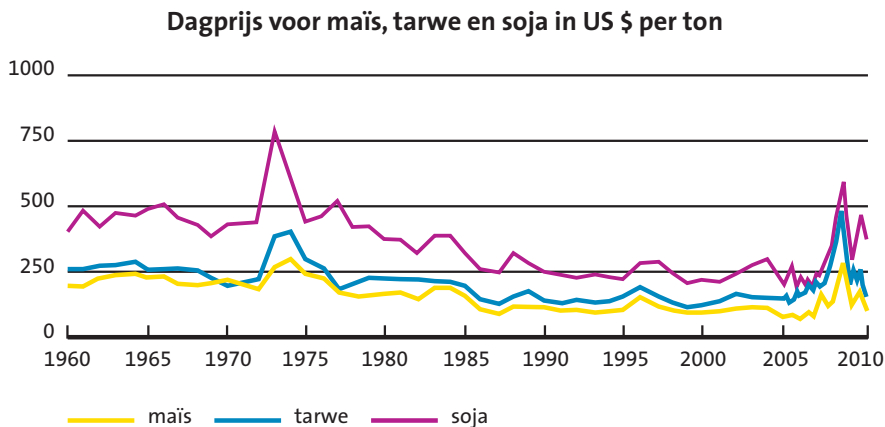
Ook voor de teelt van een gewas dat niet kan worden gegeten is landbouwgrond nodig

bijvoorbeeld de aren voor graan en rijst en de halmen en het blad voor biobrandstof. Aan de andere kant is de inzet van zulke gewassen van de tweede generatie, waarvan

de toepassing overigens nog in ontwikkeling is, niet weggelegd voor veel arme landen. De producten daaruit zijn weliswaar goedkoop, maar de benodigde investeringen zijn hoog. Veel landen in bijvoorbeeld Afrika zullen dat de komende twintig jaar niet kunnen opbrengen. Vanuit dat perspectief zouden arme boeren beter biobrandstoffen van de eerste generatie kunnen produceren. Die vereisen weinig investeringen en leveren wel geld op dat de boeren kunnen benutten voor investeringen en een betere landbouw.

Ontwikkeling van wereld-landbouwprijzen tussen 1960 en 2010.

Bron: World Bank database



‘Een kleinschalige productie van eerste generatie biobrandstoffen zou werkgelegenheid voor de Afrikanen zelf betekenen en brandstoffen voor hen bereikbaar maken. Lokaal en kleinschalige, op de boerderij geproduceerde, ethanol en diesel van de eerste generatie kunnen ze wel kopen, maar aardolie is onbereikbaar voor hen’, zegt Johan Sanders, hoogleraar Valorisatie van plantaardige productieketens, aan de Wageningen Universiteit en Researchcentrum. ‘Zelf vind ik de discussie over de tegenstelling tussen energie en voedsel een gevaarlijke, omdat deze de biomassa van de eerste generatie in een kwaad daglicht stelt ten gunste van de tweede generatie biobrandstoffen. Omdat daarvoor veel investeringen nodig zijn, zijn deze in het belang van de rijke landen en grote multinationale ondernemingen, zoals Shell. De techniek voor eerste generatie biobrandstoffen moet zo snel mogelijk onder gewone mensen in de Derde Wereld worden verspreid, maar wel op een duurzame wijze.’

Moeilijk te verwezenlijken potentieel

Sommigen vinden de grootschalige productie van biomassa voor energie en chemicaliën een te optimistisch scenario. Begin jaren '90 werd berekend dat de aarde wel 40 miljard mensen zou kunnen voeden. Nu weten we beter, zegt bijvoorbeeld Prem Bindraban, directeur van het *International Soil Reference and Information Centre* van Wageningen Universiteit en Researchcentrum. ‘Het klimaat en de biodiversiteit hebben hun beperking, net als nutriënten, water en de geschiktheid van het land voor de groei van bepaalde gewassen.’ De landbouwproductiviteit is de laatste decennia toegenomen door het in gebruik nemen van meer goede gronden en een groter en beter gebruik van water. Maar daaraan zal een einde komen. Steden breiden zich uit ten koste van landbouwgrond, er is minder water beschikbaar en de bodem degradeert. Daardoor gaan de natuurlijke hulpbronnen netto achteruit.

Er is veel potentieel, maar het verwezenlijken van potentieel zou wel eens veel meer moeite kunnen kosten dan aanvankelijk werd gedacht.

Een voorbeeld daarvan is de Europese graanteelt. In Nederland brengt een hectare 8,5 tot 9 ton graan op, in Spanje slechts 3 ton. De beperkende factor daarvoor is water en dat tover je niet tevorschijn. Daarom zal de verhoging van de productiviteit van de landbouw dus niet meer zo snel gaan als in het verleden, verwacht Bindraban, die uitrekende dat naar schatting 200 tot 300 miljoen extra hectaren landbouwgrond nodig zijn om tien miljard mensen te kunnen voeden. Voor een deel van die tien miljard mensen zal de welvaart zijn toegenomen en zij zullen gezamenlijk een groter beroep doen op natuurlijke hulpbronnen dan nu het geval is. Hun *ecologische voetafdruk* – een maat voor het beroep dat iemand doet op natuur, milieu en bronnen als water, energie en voedsel – zal in 2050 groter zijn dan nu. In plaats dat veel mensen één standaardvoet neerzetten, zetten ze er dan drie of vier.

En de dubbele doelstelling – het combineren

van voedsel en brandstof uit dezelfde plant – zal, aldus Bindraban, onvoldoende soelaas bieden. Het inzetten van restanten van de oogst voor energie kan niet ongestraft geschieden. Die resten worden nu vaak teruggestopt in de bodem en als dat niet meer gebeurt, verandert het evenwicht en zal minder koolstof in de bodem worden opgeslagen. Hoeveel van de oogstrestanten moet achterblijven, hangt af van de bodem en het klimaat. Op rijke grond moet misschien de helft van het stro blijven liggen, op armere gronden, zoals zandgrond, misschien wel negentig procent. Anderen menen dat koolstof ook op een andere manier op het veld kan worden teruggebracht. Er is immers meer dan genoeg koolstof op aarde – vandaar de discussies over de CO₂. Bindraban heeft berekend dat als de reststromen in Nederland ecologisch verantwoord worden verzameld, er voldoende biomassa is voor de productie van elektriciteit waarmee maximaal 4 procent fossiele brandstof kan worden bespaard. Een aanzienlijk pessimistischer visie dan die van Fresco en bijvoorbeeld het REFUEL-rapport over biobrandstoffen van de Europese Unie.

Resten van suikerriet blijven na de oogst achter op de akkers



Glas halfvol of halfleeg

Het lastige van de discussies over het gebruik van biomassa is dat de deskundigen het dikwijls niet met elkaar eens zijn. Elk jaar verschijnen nieuwe rapporten die elkaar lijken tegen te spreken. Vaak draait het meningsverschil over de vraag of het glas half vol of halfleeg is. Terwijl sommigen bijvoorbeeld niet geloven in de koppeling van de teelt voor voeding en energie, menen anderen dat zo'n combinatie juist cruciaal is. Vooral voor boeren in arme landen. Daar is de kwaliteit van de landbouw vaak heel laag, mede door de armoede. Er zijn investeringen nodig om de opbrengsten te verhogen, maar daarvoor is geen geld. Die investeringen komen er alleen als er ook *business* is en voedsel is daarvoor ongeschikt omdat het zelden valt te exporteren. Biofuel echter wel en de opbrengst

daarvan kan worden gebruikt om boeren efficiënter te laten produceren. Dan hebben ze minder grond nodig en hoeven ze niet steeds nieuwe stukken bos te kappen, hoewel hebzucht ook vaak een drijfveer voor het kappen van bomen is. Zo wordt de economie, de eerlijke handel in biobrandstof, de motor, want er is voorlopig een oneindige vraag naar energie.

Kleine en middelgrote boeren zullen vooral biograndstoffen voor de lokale markt gaan produceren en de grote boeren voor de regionale en bovenregionale markt. Want alleen *small is beautiful* zal niet werken. Er zullen zeker ook grote producenten nodig zijn omdat meer dan de helft van de wereldbevolking inmiddels in steden leeft. Daardoor zullen enorme arbeidsproblemen op het platteland ontstaan, die deels door schaalvergroting zullen moeten worden opgelost. Steeds minder mensen moeten voor steeds meer stedelingen gaan produceren en daarvoor is een opschaling van de landbouw noodzakelijk. Er is echter een gevaar dat als alle aandacht uitgaat naar investeringen in biograndstoffen er minder wordt geïnvesteerd in de voedingsector omdat boeren meer kunnen verdienen met energie en grondstoffen. Bij voorbeeld niet meer in slachthuizen, of vooral in energiegewassen in plaats van in maïs. Om dat te voorkomen is een goed flankerend beleid nodig. Beter investeren in de landbouw zou bijvoorbeeld de trek naar de steden kunnen verminderen. Maar sommigen vrezen dat zulk beleid in de praktijk onmogelijk goed valt uit te voeren. Zij menen dat het voorzorgsbeginsel (voorkomen is beter dan genezen) gebiedt er niet aan te beginnen.

Harde business

Het besef dat de productie van biomassa voor energie en producten alleen plaats mag vinden onder een streng duurzaamheidsbeleid en in samenwerking met de lokale bevolking lijkt nu bij velen te zijn doorgedrongen. Sinds de zware kri-



Leegloop van het platteland in Afrika

tiek op biomassa voor brandstof naar aanleiding van de tortilla-crisis, hebben nieuwe studies laten zien dat biomassa wel een goede optie *kán* zijn, wat betreft energie en klimaat, mits de goede voorwaarden en de juiste opties worden gekozen. Er is sinds de zomer van 2008 veel gebeurd: in Nederland, in de EU – die een leidende partij is geworden – en in de Verenigde Naties. De algemene gedachte is nu dat biograndstoffen nodig zijn, maar wel onder bepaalde randvoorwaarden met betrekking tot zowel landbouw en biodiversiteit als sociaal-economische aspecten. Daarover worden discussies op hoog niveau gevoerd. Het gaat daarbij om een verfijning van de voorwaarden en de controle van de afspraken, zoals door het gebruik van satellieten en certificering.

Grote landen als de VS, China, Canada en de EU richten zich nu massaal op diverse terreinen van het gebruik van biomassa. Zoals op de tweede generatie technieken voor biobrandstoffen en biograndstoffen, op nieuwe typen grondstoffen (zoals lignocellulose), op bioraffinage, op de vraag welke gronden geschikt zijn voor de productie van biomassa en op hoe het noodzakelijke evenwicht met voedsel kan worden bewaard. André Faaij, hoogleraar aan de Universiteit Utrecht, ziet een

Legale monsters op Sumatra

Teluk Meranti ligt op een schiereiland in het zuid-oosten van het Indonesische Sumatra. Het bos rond het dorp wordt bedreigd door een legaal monster, vertellen de dorpsbewoners. Met concessies van de overheid, rukken de bulldozers van de papier- en palmoliereuzen in hoog tempo op. Pulp- en papiergigant April bereidt de verwoesting van het oerwoud – een van de laatste veenbossen – voor. In plaats daarvan komen er eindeloze rijen oliepalmen of acacia's voor de papiermolens van Asia Pulp and Paper, de grootste papierfabrikant van Azië. Yusuf, een van

de clanleiders in het dorp, wijst naar de overkant van het water, waar eens tuinen lagen. 'Verderop zijn ze het bos aan het omhakken, en nu komen alle dieren – varkens, apen, herten – deze kant op, op zoek naar eten. Ze hebben alles opgevreten.' Net als de dieren worden zo ook de vijfduizend inwoners van Teluk Meranti steeds meer in een hoek gedrongen. 'Als de grote maatschappijen hun plantages maken, waar moeten wij dan nog een stukje land vandaan halen voor onze kinderen? Waar halen wij dan nog ons hout?', vraagt een van de dorpsouderen zich af. Met het bos verdwijnt hun

leefruimte. Straks staan overal hekken met daarachter dorre acacia's. De dorpsbewoners hebben hun bos nodig of ten minste een stuk grond om te bewerken, groot genoeg voor henzelf, hun kinderen en kleinkinderen. 'Alles wat mooi is verdwijnt straks, en wij blijven met lege handen achter', zegt Yono, een van de leiders van het dorpsverzet tegen April. Greenpeace is ze te hulp gekomen, en heeft een kamp opgezet om te protesteren tegen de vernietiging van het waardevolle veenbos. 'Wij zijn blij dat ze hier zijn', zegt Yono. Hij gelooft niet dat ze April lang kunnen



Vernietiging van veenbossen in Indonesië.

tegenhouden. 'Dat bedrijf is zo machtig; het heeft nu al mensen in het dorp omgepraat. Het lijkt een kwestie van tijd. Maar wie weet wat er mogelijk is met hulp uit het buitenland?'

Deze bewerking van een artikel van Michel Maas

in de Volkskrant van 7 december 2009 laat zien hoe zaken fout kunnen lopen, in dit geval rond de productie van papier. Een duurzame productie van biomassa is alleen mogelijk als alle betrokken partijen deze gezamenlijk ter hand nemen.

aantal grote praktijkprojecten die voor 2015 commerciële toepassing binnen bereik brengen. En hij verwacht dat binnen tien jaar biomassa concurrerend zal zijn met aardolie. 'Biomassa zal groeien door het grootschalig gebruik van nieuwe stromen: bos- en restafval, graslanden en het gebruik van marginale gronden.' Ook in de IEA (het energie-agentschap van de OESO, 28 rijke landen) heeft een omslag plaatsgevonden. Dit agentschap heeft biobrandstoffen altijd duur gevonden, maar houdt er nu rekening mee dat in 2020 de prijs ervan concurreert met die van aardolie. Daardoor

wordt biomassa niet meer louter gezien als middel om broeikasgassen en klimaatverandering tegen te gaan, maar als een harde business. Faaij: 'Wel op voorwaarde dat we het goed doen. Wat dat betreft zijn inmiddels een aantal harde lessen geleerd.'

Mensenrechten en milieu-effecten

De discussie over het gebruik van biobrandstoffen spitst zich vooral toe op de concurrentie tussen gewassen die zijn bestemd voor brandstoffen en

andere economisch waardevolle grondstoffen met die voor voedsel. De tweede generatie biomassa, die zowel voedsel als energie levert, heft die kritiek voor een belangrijk deel op. Maar er is ook andere kritiek op de noodzaak om biobrandstoffen in te zetten ter vervanging van fossiele brandstoffen en op de invloed die dat teweeg zal brengen. Wat bijvoorbeeld zijn de sociaal-economische gevolgen voor arme boeren wanneer grootschalige biomassaproductie in hun regionale economie wordt geïntroduceerd? Wat zijn de gevolgen van de beperkte beschikbaarheid van water en fosfaat voor het realiseren van voldoende biomassa? Wat zijn de gevolgen van de productie van biograndstoffen op de biodiversiteit en leidt de teelt van biomassa op de ene plaats niet tot het ontginnen van landbouwgrond voor voedsel op andere plekken op aarde, de zogenoemde *indirect land use change*, de indirecte verandering van landgebruik? En hoe staat het met de mogelijke noodzaak voor de toepassing van genetisch veranderde gewassen en micro-organismen? Tot slot zijn er vraagtekens te plaatsen bij de efficiëntie waarmee levende organismen zonne-energie omzetten in voor brandstof bruikbare energie en bij de grootte van de bijdrage die biomassa levert aan een vermindering van de mondiale CO₂-uitstoot.

Sociaal-economische gevolgen

Tot nu toe is weinig uitgekomen van een verbetering van de leefsituatie van kleine boeren, zegt sociaal-wetenschappelijk en juridisch onderzoeker Jacqueline Vel van de Universiteit Leiden. 'Met jatropha-projecten is nog maar pas een begin gemaakt en is er vooral sprake van opportuniteiten voor bedrijven en overheidsdiensten.' Gewassen voor biobrandstoffen zijn weinig anders dan andere gewassen voor de internationale commercie, zoals voor rubber en suiker. Die zijn afhankelijk van de wereldmarkt. Dat is voordelig als de prijzen hoog zijn, maar nadelig als ze laag zijn.

Individuele aanbieders hebben daar geen invloed op. De vraag is wie er beter van worden. Er zijn voorbeelden van kleine boeren die rijk werden van oliepalmen, maar ook veel voorbeelden van het tegenovergestelde en van boeren die moesten wijken voor de aanleg van plantages. In het algemeen hebben kleine boeren weinig zeggenschap. Nogal wat landen in Afrika en Zuid-Oost Azië hebben wel wetten en regels, maar hun zwakke staat kan de boeren niet beschermen. Veel NGOs – niet-gouvernementele organisaties – menen dat de introductie van oliepalimplantages in Indonesië en Maleisië vaak een voorbeeld is van hoe het niet moet. Het (illegaal) kappen van bos levert geld op en daarmee worden, niet zelden op corrupte wijze, palmolieplantages aangelegd, waarbij kleine boeren het veld moeten ruimen. Aan de andere kant zijn er, bijvoorbeeld in Indonesië, ook tientallen miljoenen hectaren gedegradeerde graslanden die geschikt zijn voor palmolie en jatropha.

De situatie is niet zo zwart-wit. Onderzoek-

VRAAG 2

Wat hebben mensenrechten te maken met biobrandstoffen?

Oliepalimplantage op Borneo





kers constateren dat er grote verschillen zijn wat betreft gewassen en regio's. De verbouw en handel in jatropha gaat in Tanzania moeizaam, maar is in Colombia een succes. En de ethanolproductie in Brazilië gaat, door de bank genomen, goed, ook al is daar ook wel sociale onrust. Goede wet- en regelgeving op het gebied van landeigendom en landgebruik, maar ook voor de bescherming van het milieu, zijn onderdeel van duurzame productiewijze van grondstoffen voor biobrandstof. Maar wat als de staat zwak is en de corruptie groot? Het is ook de vraag of het beleid en de praktijk in Derde Wereldlanden wel vanuit Nederland, zelfs vanuit de EU, kunnen worden beïnvloed en hoe en op welke schaal duurzame productie valt te garanderen. Er zijn grote economische belangen gemoeid met de productie van biomassa voor energie. Wie produceert, de technologie in handen heeft en het transport beheerst, kan de praktijk redelijk gemakkelijk naar zijn hand zetten.

VRAAG 3

Zonnecellen en windmolens zetten zonne-energie efficiënter om dan planten, is het toepassen van biomassa daarom overbodig?

Economische belemmeringen

Wat zijn de gevolgen van de introductie van grootschalige en efficiënte landbouwmethoden in de zwakke lokale en regionale economieën in veel Derde Wereldlanden? Zoals ook bij andere ontwikkelingen kan sociaal-economische stress de gemaakte planning in het honderd doen lopen. Daarnaast zijn economische en technologische aspecten cruciaal. Ook al hebben boeren toegang tot land, water en productiemiddelen, ze zullen alleen land ontginnen, de landbouwproductie verbeteren en biogewassen telen als ze daar financieel voordeel bij hebben en er een afzetmarkt is. Dat is alleen het geval als de prijs die zij voor deze producten ontvangen hoog genoeg is en ze geproduceerd en getransporteerd kunnen worden tegen een prijs die lager is dan de traditionele grondstoffen uit fossiele brandstoffen. Zover is het met biobrandstoffen nu vaak nog niet en daarbij is de ontwikkeling van de technologie wezenlijk. Niet alleen wat betreft de meest efficiënte produc-

tiemethoden en toepassingen voor biomassa en grondstoffen, ook voor het transport daarvan. Is er voldoende goedkope technologie om de biomassa of de biograndstof dermate sterk te concentreren dat het economisch de moeite waard is deze over de aardbol te verslepen – zoals nu gebeurt met steenkool, aardolie en aardgas? En wat zijn de kosten van de benodigde logistiek om de biomassa, zoals restproducten, te verzamelen bij de (kleine) producenten?

Efficiënter gebruik bodem

Het gebruik van voedingsgewassen voor brandstoffen zal snel zijn limiet bereiken. Als alle door Amerika geproduceerde maïs voor bio-ethanol zou worden gebruikt, kan daarmee aan slechts 15 procent van de vraag naar benzine in de VS worden voldaan. Voor het behalen van de Europese doelstelling van tien procent biobrandstoffen uit gewassen is een oppervlak ter grootte van al het akkerland in het hele Verenigd Koninkrijk nodig, in feite tien procent van het Europese landbouwareaal. Dat is niet gering en betekent dat bij een groter aandeel biobrandstoffen naar andere oplossingen moet worden gezocht. Zoals de toepassing van biobrandstoffen van de tweede generatie die worden vervaardigd uit de niet eetbare delen van de voedselgewassen en van houtige gewassen. Ook kan worden gezocht naar een efficiënter gebruik van bestaande gronden. Op bijvoorbeeld de pampa's van Brazilië en Mongolië kunnen geen granen worden verbouwd, maar misschien wel eucalyptusbomen of andere gewassen die energie kunnen leveren. Zelfs in Nederland kan anders met de grond worden omgegaan dan nu het geval is. In ons coulisselandschap met koeien, zouden bijvoorbeeld veel meer kreupelhout en bomen kunnen worden aangeplant. Misschien zelfs genetisch gemodificeerde houtsoorten – als die ooit worden toegestaan – die olie of andere producten produceren.

Maatschappelijke belemmeringen

Of landbouwareaal gemakkelijk kan worden uitgebreid, is de vraag, want er zijn diverse belemmeringen. Allereerst is het de vraag of de hoeveelheid theoretisch berekende landbouwgrond ook werkelijk beschikbaar zal komen. Hoe bijvoorbeeld, zullen deze marginale en soms moeilijk te bereiken gronden worden ontgonnen? Voor ontginning en bebouwing zijn investeringen en een infrastructuur nodig en mensen die bereid zijn de grond te bewerken. Afgezien van het daarvoor noodzakelijke geld, spelen geopolitieke en culturele aspecten een rol. Is een regering bijvoorbeeld bereid een infrastructuur aan te leggen in zulk onontgonnen gebied (is daar bijvoorbeeld wel geld voor?) en welke bevolkingsgroepen zijn bereid om zich daar als landbouwers te vestigen? Ook natuur en milieu kunnen drempels opwerpen. Als voor de ontginning van areaal voor de productie van bio-energie regenwoud moet worden gekapt of savannen moeten verdwijnen, staat dat haaks op de wens tot duurzaamheid. Ook het (veranderende) klimaat speelt een rol, al was het alleen maar vanwege veranderingen in de hoeveelheid neerslag die dikwijls een beperkende factor is voor een voldoende hoge opbrengst. Dat brengt direct ook de vraag op of het valt te verwachten dat de productiviteit van de landbouw werkelijk naar het theoretische maximum kan worden gebracht. Daarvoor zijn investeringen nodig. In irrigatie, de aanschaf van gewassen met een hoge opbrengst, kunstmest en machines. Sinds jaar en dag blijken die investeringen in arme landen niet het gewenste resultaat op de langere termijn te hebben.

Het is de vraag of beleid en praktijk in Derde Wereldlanden vanuit Nederland kunnen worden beïnvloed

Broeikasgas en energiewinst

Hoe sterk dragen biobrandstoffen bij aan de vermindering van de hoeveelheid broeikasgassen en de vervanging van fossiele brandstoffen? Als voor de productie van biomassa nieuwe stukken grond moeten worden ontgonnen, zal dat gepaard gaan met de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen. Bij de productie van biomassa wordt niet alleen de bovengrondse biomassa vervangen, waarbij CO₂ vrij komt, maar ook de ondergrondse. In de eerste 30 centimeter van de bodem zit evenveel koolstof als in wat er op het land staat. Bovendien zal de bodemkwaliteit achteruit gaan door de exploitatie van de grond en zullen plantenresten worden afgebroken waarbij de broeikasgassen methaan, CO₂ en NO_x vrijkomen. De Stichting Natuur en Milieu berekende dat voor het behalen van de Europese doelstelling van een vervanging van tien procent van de fossiele brandstoffen door biomassa een oppervlakte ter grootte van het Britse landbouwareaal nodig zou zijn en dat dit een vermindering van slechts één procent van de totale Europese uitstoot van CO₂ zou betekenen. Daarbij is overigens uitgegaan van nieuw aan te planten eerste genera-

tie energie-gewassen en niet van het benutten van reststromen en afval. 'De tweede generatie bio-brandstoffen staat nog echt in de kinderschoenen', zegt Willem Wiskerke van de Stichting Natuur en Milieu, die wel erkent dat de ontwikkeling van de daarvoor benodigde technologie snel gaat. 'Op den duur zullen we ongetwijfeld brandstoffen uit gras en hout kunnen maken door vaste biomassa vloeibaar te maken. Maar je kunt niet ongestraft landbouwresiduen gebruiken, want een deel moet je onderploegen om de bodem vruchtbaar te houden. Ook reststromen uit bosbeheer hebben hun beperking. Uiteindelijk is dit geen panacee voor duurzaamheid, want ook hier blijven dezelfde duurzaamheidscriteria gelden.'

Inefficiënte energie-opslag

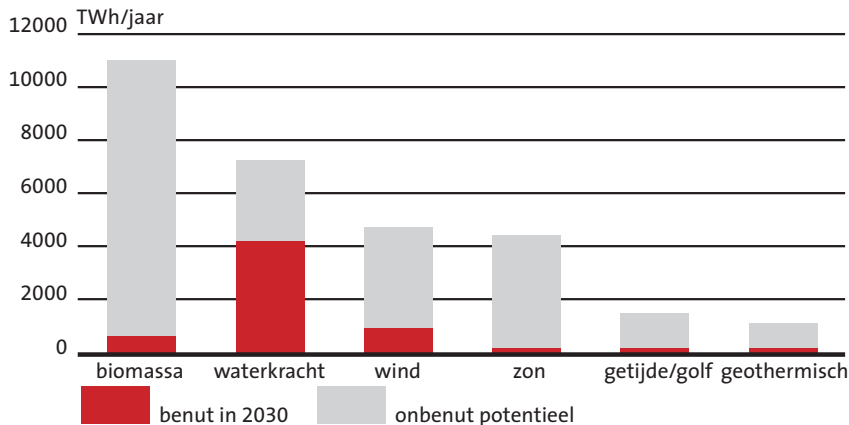
De inzet van biomassa betekent dat we tijd (miljoenen jaren voor de productie van steenkool en aardolie uit biomassa) omzetten in oppervlakte (het areaal dat nodig is om eenzelfde hoeveelheid energie te laten groeien). Het voordeel daarvan is dat het bijna moeiteloos gaat – de planten groeien immers praktisch vanzelf. Het nadeel is dat planten heel inefficiënt zijn in het vastleggen van lichtenergie in biomassa. Hoeveel dat is, is ook afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare zonne-energie, de plantensoort en de duur dat een plant op het land staat. In Europa wordt maximaal 2,5 procent van de zonne-energie opgeslagen gedurende het halve jaar dat het gewas op het veld staat. Jaarlijks leggen ze dus slechts één procent van de beschikbare zonne-energie vast. In gebieden dicht bij de evenaar is het percentage gunstiger. Ook doordat daar soms wel twee of drie oogsten per jaar van het land gehaald kunnen worden.

Maar planten moeten ook worden geteeld, wat zaaien, bemesten, soms irrigeren en andere – vaak gemotoriseerde – activiteiten betekent. Wordt de daarvoor benodigde energie afgetrokken, dan leggen planten tussen 0,2 en 1 procent van de zonne-

Efficiëntie van hernieuwbare bronnen.

Bron: IEA, World Energy Outlook, 2004

Benut en niet-benut wereldwijd potentieel van hernieuwbare bronnen



energie vast – het hoogste percentage geldt voor de evenaar. De stralingsbenutting is dan ook eerder uit te drukken in promillen dan in procenten, waarbij ook nog eens heel wat water, land en nutriënten nodig zijn. Daarom, en omdat het gebruik van primaire biomassa weinig broeikasgassen uitspaart, de voedselzekerheid bedreigt, hulpbronnen vermindert en de biodiversiteit aantast, menen sommigen dat er betere alternatieven zijn om af te komen van aardolie en steenkool. Daarvoor moeten we van de landbouw af en terug naar de natuurkunde, vindt bijvoorbeeld Prem Bindraban 'Energie is een fysische grootheid en geen biologische. Daarom moet je niet de plant gebruiken, maar zonne-energie rechtstreeks omzetten in elektriciteit via zonnepanelen', stelt hij. 'Een plant is 0,2 tot 1 procent efficiënt. De foto-voltaïsche cel is nu al 17 procent efficiënt en dat gaat naar 35 procent. Een volledig fysisch principe is veel efficiënter dan een biologisch systeem.'

Elektriciteit in plaats van biomassa

Elektriciteit zal in de moderne samenleving een belangrijke energiedrager worden en voor een deel van de energiebehoefte zullen zonnecellen, windmolens en waterkracht zeker geschikt zijn. Bijvoorbeeld voor het opwekken van warmte en elektriciteit en voor een deel van het transport. Bijna een kwart van het totale wereldenergiegebruik is bestemd voor transport. Dat zou met elektrische auto's kunnen, maar vooralsnog is de actieradius daarvan zo gering dat ze vooral binnen de steden zullen blijven. En elektrische vliegtuigen en schepen blijven voorlopig een utopie. Ook het vrachttransport, dat ongeveer de helft van de energie van het wegtransport opsoupeert, kan redelijkerwijs niet op basis van elektriciteit. Daarvoor moeten vrachtwagens een te groot vermogen leveren. Ook zal het aantal transportkilometers ter wereld toenemen. Zelfs al neemt de zuinigheid van automotoren toe tot dertig kilometer op één



liter benzine of diesel, dan nog zal de komende decennia de energiebehoefte van het wegtransport toenemen. De ontwikkeling van grootschalig elektrisch autovervoer duurt zeker nog vijftien jaar en zolang zullen landen als India en China niet kunnen wachten.

'Die groeiende behoefte kan niet met louter elektrische energie worden opgevangen. De behoefte aan vloeibare brandstoffen blijft voor onbepaalde tijd zeer hoog en daarmee zijn bio-brandstoffen feitelijk onmisbaar om vergaande vermindering van broeikasemissies in de mondiale transportsector te behalen en onafhankelijk(er) te worden van de alsmaar duurder wordende aardolie', concludeert André Faaij. Daarnaast wordt wereldwijd vijf tot tien procent van de fossiele grondstoffen gebruikt voor het vervaardigen van materialen. Grondstoffen uit de olieraffinage worden ingezet in de chemische industrie voor de productie van bijvoorbeeld

**Containeroverslag
in Rotterdam**

Een plant is 0,2 tot 1 procent efficiënt. De fotovoltaïsche cel is nu al 17 procent efficiënt en gaat naar 35 procent

beeld plastics. Wind- en zonne-energie kunnen wat dat betreft kolen, olie en gas niet vervangen. Biograndstoffen kunnen dat wel. Voor de boeren betekent dat veel toegevoegde waarde van hun biomassa omdat de chemische industrie voor deze *feed stock* meer betaalt dan voor biobrandstof.

Opslag van energie

Bovendien is er het probleem van opslag van energie. Cellulose kan met de tweede generatie technologie worden omgezet in ethanol dat in een motor kan worden verbrand. Hoewel de energie-omzetting via biomassa veel minder efficiënt is dan via zonnecellen of windenergie, heeft biomassa een functie als middel voor de opslag van energie. In de keten tussen effectieve zonnecellen of windmolens en bijvoorbeeld draaiende wielen, moet elektriciteit ook efficiënt kunnen worden opgeslagen. En daarvoor is nog geen praktische oplossing. De verwachting is dat het daarom nog wel 40 jaar zal duren voor er een efficiënte keten is tussen de productie van elektriciteit en het gebruik ervan is. Diesel en alcohol uit biomassa bieden wel zo'n opslagmogelijkheid. Voordat de economie overgaat op zonnecellen met waterstof als opslag, zal daarom de komende decennia eerst biomassa nodig zijn, is de verwachting. Sommigen denken dat als de toepassing van biomassa zich nu vooral concentreert op de productie van biogas, dat voordelig zal zijn omdat er in Nederland al een infrastructuur voor gas bestaat. Voor de toekomstige toepassing van waterstof zal deze verder worden uitgebreid.

Energieteelt: vierd

EIND JAREN '80 was Nederland op zoek naar een vierde gewas. De traditionele tarwe, aardappelen en bieten leverden de akkerbouwers een te karige boterham. Een vierde gewas dat olie, hennep en eiwitten met een hogere marktwaarde kon produceren, moest uitkomst bieden. Tot een echt vierde gewas is het nooit gekomen. Technisch was het wel realiseerbaar, maar anders dan de boeren, voelde de industrie geen urgentie – ze zat er niet op te wachten. Aan het begin van het nieuwe millennium kwam het vierde gewas weer binnen langs een andere route. Door de CO₂-problematiek, de wens tot stabiele energiestromen los van Irak, Iran en Rusland en door de *biobased economy* die een stabiliteit van aanvoer en milieudoelstellingen kan verwezenlijken. Weer heeft de industrie het niet bedacht, maar doordat behalve de boeren, die nog steeds een vierde gewas zoeken, ook maatschappelijke actoren en de overheid zich er sterk voor maken, is het draagvlak breder dan indertijd. Daarom bieden gewassen voor energie en grondstoffen nu meer perspectief, ook al zou het beter zijn geweest als de vraag ernaar van afnemers komt in plaats van de overheid.

Bij *people, planet, profit* als uitgangspunt is het maatschappelijke draagvlak belangrijk, maar het profijt mag niet worden vergeten. Vooral de energiemarkt domineert het bio-energies dossier, de agrarische markten veel minder. 'Uit de gemaakte berekeningen komt een enorm groot potentieel aan biomassa naar voren. Maar het beschikbaar komen daarvan heeft invloed op de voedselproductie. Bovendien komen deze hoeveelheden alleen vrij wanneer er voldoende water kunstmest

e gewas voor boeren

en gewasbeschermingsmiddelen beschikbaar zijn, iets wat vaak vraagt om (forse) investeringen. Die investeringen kunnen ook worden gedaan om voedsel te verbouwen op dat stuk grond, wat veelal economisch meer oplevert', zegt econoom Marieke Meeusen bij het LEI van Wageningen UR. 'En we moeten niet vergeten dat veel van de in de berekeningen opgevoerde biomassa nu ook al een bestemming heeft, zoals menselijke voeding en veevoer. Die biomassa kun je niet zomaar overbrengen naar een minder aantrekkelijke energiemarkt.'

Meeusen denkt dat in de Derde Wereld een enorm potentieel voor biomassa is en dat het verstandig is dat mensen daar schaarse grond, arbeid en water inzetten voor de productie van biomassa voor hun eigen energieproductie. 'Niet voor alleen de grote oliemaatschappijen van deze wereld. Want daardoor zou een economie ontstaan die de voedselvoorziening gaat beïnvloeden. Kleine bioraffinaderijen waarvan energie een bijproduct is en die daarmee de lokale economie stimuleren, zijn goed. Maar niet voor het rijke Westen. De landbouw moet hier om voedsel gaan. Voedsel is altijd meer waard dan energie. We moeten de plant de gelegenheid geven iets moois te maken en dat gebruiken. Als je er dan verder helemaal niets meer aan hebt, kun je die rest in energie omzetten. De technologie van de tweede generatie biograndstoffen kan van allerlei componenten van de plant die economisch minder aantrekkelijke elementen bevatten toch iets moois maken.'



Zal koolzaad in Nederland ooit het vierde gewas worden?

Stichting Natuur en Milieu: geen gar

‘EEN PAAR jaar geleden waren milieuoorganisaties nog redelijk positief over biomassa als vervanger van olie en als oplossing voor de transportsector. Althans, mits de productie van biomassa zou worden gecertificeerd volgens duurzaamheidscriteria. Later is bij ons het besef doorgedrongen dat dit beeld te zonnig was’, zegt Willem Wiskerke van de Stichting Natuur en Milieu (SNM). Natuur en Milieu waarschuwt voor de negatieve gevolgen van het stimuleringsbeleid voor bio-energie: ‘Dat doen we op basis van een stapel gezaghebbende rapporten. Wetenschappers denken dat de vraag naar biomassa uiteindelijk zal worden weggezet in de mondiale landbouweconomie en dat de consequenties daarvan niet in de hand zijn te houden.’ Een vergroting van de vraag naar bijvoorbeeld palmolie stimuleert ontbossing in Zuid-Oost Azië, verwacht SNM. Een certificaat helpt niet om dit te voorkomen, vreest de NGO. Alleen het terug-

dringen van de vraag naar palmolie of een verbod op de ontbossing zal helpen. Certificering is geen oplossing voor zo’n macro-economisch effect. De inzet van biomassa voor de vervanging van tien procent van de Nederlandse transportbrandstof zou een oppervlak ter grootte van een derde deel van Nederland vereisen. Wiskerke: ‘De EU-doelstellingen ter vervanging van fossiele brandstoffen bieden niet per se een uitkomst voor de kleine boeren. Zulke verreikende doelstellingen leiden tot grootschalige productie, gezien de ervaring dat oliemaatschappijen hun grondstoffen meestal niet van de *smallholders* betrekken. Daardoor is het waarschijnlijk dat kleine boeren worden verdrongen.’

Een ander aspect waar Natuur en Milieu zich zorgen over maakt, is de zogenoemde *Indirect Land Use Change*. Het fenomeen dat het landgebruik op de ene plaats op aarde kan veranderen door veranderingen in de teelt op andere plekken, zoals landbouw voor biobrandstof. Wiskerke: ‘Dat gaat verder dan de discussie over voedselprijzen door concurrentie tussen *food & fuel*, maar behelst vooral de netto klimaatwinst die kan worden bereikt door de inzet van vruchtbare landbouwgrond voor energieteelt.’ Door het stimuleringsbeleid voor bio-energie ontstaat een extra vraag naar landbouwgewassen en ook naar landbouwgrond. Dit leidt tot uitbreiding van landbouwareaal op wereldschaal. Een uitbreiding die ook gepaard gaat met de uitstoot van broeikasgassen. Een belangrijke vraag is dus of een stimuleringsbeleid (zoals het verplicht bijmengen van biobrandstoffen) wel leidt tot klimaatwinst. Gezaghebbende institu-

In Brazilië rijden veel auto's op ethanol (alcohol)





Luchtopname van ontbossing in het Amazonegebied, Brazilië

ten waarschuwen daarvoor, stelt Wiskerke. ‘De afgelopen twee jaar heeft zich daarom een omslag voorgedaan in het denken over bio-energie. Concurrentie van teelt voor bio-energie met voedselgewassen moet niet zozeer worden vermeden vanwege de mogelijk stijgende voedselprijzen, maar vooral vanwege het vermijden van de indirecte uitstoot van broeikasgassen.’

Omdat niemand kan garanderen dat bio-energie niet leidt tot problemen voor kleine boeren en de (verborgen) uitstoot van meer broeikasgassen, is Wiskerke terughoudend ten aanzien van het op grote schaal stimuleren van biobrandstoffen. ‘Men kan wel heel enthousiast zijn over de mogelijkheden van biomassa, wij kijken toch meer naar de gevaren en de risico’s.’

ANTWOORD 1

Door gewassen te gebruiken die niet kunnen worden gegeten. Beter is alleen reststromen van voedselgewassen te gebruiken voor bio-producten of gewassen te telen op marginale, tot nu toe, ongebruikte gronden.

ANTWOORD 2

Doordat biobrandstoffen wereldwijd worden gestimuleerd, zijn overheden en grote bedrijven geïnteresseerd in energieteelt op grote schaal, vanwege de opbrengsten. Daardoor kunnen traditionele landbouwers worden verdreven door industriële plantages.

ANTWOORD 3

Nee, de opslag van elektriciteit is nog een probleem. Daarom zijn biobrandstoffen voorlopig een goede manier van energie-opslag, vooral voor het transport. Bovendien heeft de industrie chemicaliën nodig, die alleen duurzaam uit biograndstoffen kunnen worden gewonnen.

Een samenleving die anderhalve eeuw lang is opgebouwd rond het gebruik van fossiele brandstoffen en grondstoffen, verandert niet met een pennenstreek in een samenleving waarin het gebruik van biomassa als bron voor energiewinning, transport en chemie, centraal staat.



6 Transitie van fossiel naar bio

Voor de overgang naar een biograndstoffen-economie zijn investeringen nodig. Bijvoorbeeld in technologie om ethanol uit algen te winnen.

DE OMSCHAKELING van een op fossiele grondstoffen georiënteerde samenleving naar een maatschappij waarin het gebruik van biomassa centraal staat, gaat niet gemakkelijk. Er zijn lef en goede voorbeelden voor nodig, ondersteunende beleidsmaatregelen en vooral een goede aansluiting bij de bestaande processen en structuren binnen industrie en bedrijvigheid. Een voorzichtige benadering, zelfs een tijdje *onder de radar* blijven, lijkt de beste aanpak. Ook moet duidelijk zijn dat de transitie van fossiele naar biograndstoffen in veel gevallen economisch voordeel oplevert. Ook al zijn die voordelen op de korte termijn nog vooral afhankelijk van technologische ontwikkelingen, de prijzen van zowel aardolie als de diverse biomassa's en overheidsbeleid.

Overtuigen, verleiden en een beetje dwang

Dat fossiele grondstoffen niets anders zijn dan oude biomassa en dat biomassa dus kan worden beschouwd als jonge fossiele grondstoffen, lijkt een eenvoudige stelling. Biomassa en fossiele massa lijken dus uitwisselbaar. Helaas is dat niet

het geval. De samenstelling van de olie die uit biomassa valt te halen (pyrolyse-olie) is anders dan die van aardolie. Ook de weg naar de productie van diesel uit aardolie is anders dan die uit biomassa. Ook zijn veel chemische bouwstenen die uit de petrochemische industrie te voorschijn komen en bruikbaar zijn in andere takken van industrie, vaak net even anders dan de chemische bouwstenen die de raffinage van biomassa oplevert. En ook zijn de bronnen ervan verschillend van karakter. Zijn aardolie, aardgas en steenkool geconcentreerd in een overzienbaar aantal putten in een beperkt aantal regio's op aarde, biomassa kan verbouwd worden op elk stukje grond op heel veel plaatsen op aarde. Er is sprake van een decentrale winning van biograndstoffen in plaats van een meer centrale winning zoals bij fossiele grondstoffen.

Een samenleving die anderhalve eeuw lang is opgebouwd rond het gebruik van fossiele brandstoffen en grondstoffen, verandert niet met een penne streek in een samenleving waarin het gebruik van biomassa als bron voor energiewinning, transport en chemie, centraal staat. Daarvoor zijn grootschalige veranderingen nodig. Zowel lokaal, regionaal, nationaal en internationaal als binnen diverse bedrijfstakken. Zulke grootschalige veranderingen – die een transitie,



Het broeikaseffect heeft een negatieve invloed op de leefomstandigheden, zoals hier in Vietnam.

een overgang, worden genoemd – vereisen veel denkwerk en inspanning. Zelden gaan transitie vanzelf, meestal worden ze afgedwongen door de (economische en technologische) omstandigheden of het besef dat voortgaan op de bestaande weg onherroepelijk leidt tot rampspoed.

Paradigmashift nodig

Veel mensen denken dat het moment is aangebroken voor zo'n transitie op het gebied van energie. De gemakkelijk te winnen fossiele brandstoffen zullen opraken gedurende de komende eeuw en de

prijzen ervan zullen in elk geval stijgen. Bovendien betekent het opstoken en op andere wijze gebruiken van fossiele grondstoffen een toename van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer. En CO₂, zo is de wijdverbreide vrees, stimuleert het broeikas-

effect. Daardoor stijgt de temperatuur op aarde, rijst de zeespiegel en wordt het klimaat grilliger. Dat zal allemaal een negatieve invloed hebben op de leefomstandigheden van grote bevolkingsgroepen op aarde.

Er is een paradigmashift nodig, meent bijvoorbeeld Paul Hamm, lid van de Stuurgroep *Biobased Economy* en het bestuur van de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie. 'Zo'n verandering in denken kan langs twee wegen worden bereikt. Door een geweldige schok. Zoals oorlogen die uitbreken als de armen de welvaart werkelijk bij ons komen halen. Schrik zal ook ontstaan door honger en voedselgebrek in grote delen van de wereld. De andere weg is bewustwording, maar die duurt aanzienlijk langer. Er zit wel wat beweging in, toch denken nog te veel mensen dat de zorg om klimaat en duurzaamheid vooral een geiten-wollen-sokken gebeuren is. Dat is een grove misvatting.' Hamm is ervan overtuigd dat de wal uiteindelijk het schip zal keren en dat de toenemende voedselproblemen, honger en de hoge prijs van de fossiele energiebronnen het tij zullen keren. Maar een transitie naar een economie die is gebaseerd op biograndstoffen zal niet vanzelf komen. Daarvoor zijn ingrijpende maatregelen nodig, zoals het voor producenten duur maken om CO₂ uit te stoten. Een prijs van bijvoorbeeld 50 € per ton uitgestoten CO₂ kan een belangrijke motor voor een omschakeling naar een biobased economy zijn. Om dat te doen – zeker nu de prijs van olie, na een eerste schrik aanjagende stijging, weer is gezakt – vereist politieke moed.

Afval niet altijd afval

Een *biobased economy* betekent overigens niet het louter inzetten van biomassa voor de productie van energie en materialen. Ook de grootschalige toepassing van wind-, water- en zonne-energie en andere bronnen van duurzame energie zullen deel uitmaken van zo'n samenleving. En ook

Het benutten van de grote hoeveelheden reststoffen in land- en bosbouw vereist geen nieuwe technologie

Platform Groene Grondstoffen

Het Platform Groene Grondstoffen richt zich op het stimuleren en begeleiden van de overgang van een *petrobased economy* naar een *biobased economy* in Nederland. In 2030 zou 30 procent van de fossiele grondstoffen door groene moeten zijn vervangen. Een voorbeeld van zo'n transitie binnen de chemische industrie is een productiefaciliteit voor bio-ethyleen, waaraan het platform samen met de industrie werkt. Vanuit de Botlek loopt een ethyleenpijpleiding het achterland in waarop diverse chemische bedrijven in Nederland, Duitsland en België zijn aangesloten. Bij de productie van nafta in Europoort wordt jaarlijks 12 miljoen ton ethyleen geproduceerd en via het leidingnet getransporteerd. Ethyleen is een chemische bouwsteen voor een groot aantal producten waaronder shampoo en antivries, maar vooral ook voor kunststoffen als pvc en polyetheen. De raffinage zal langzamerhand

uit de Botlek verdwijnen waardoor minder ethyleen beschikbaar komt. De pijplijn zal opdrogen, terwijl industrieën ethyleen als grondstof nodig blijven hebben. Ton Runneboom, voorzitter van het Platform Groene Grondstoffen: 'Ethyleen kan ook worden geproduceerd op basis van ethanol uit suikerriet. Deze bio-ethyleen verschilt niet van fossiele ethyleen en kan daarom eenvoudig worden gebruikt in bestaande processen. We kunnen een fabriek naast die pijpleiding zetten die jaarlijks 500.000 ton bio-ethyleen produceert – een schijntje van wat nu door de pijpleiding gaat. Via een systeem van groencertificaten kunnen bedrijven vervolgens aantonen dat hun product groen is en kunnen ze extra geld voor dat product krijgen. Het platform is ook in gesprek met het Better Sugar-cane Initiative voor een certificeringssysteem voor de duurzame productie en het duurzame gebruik van suikerriet in



— Ethyleen pijpleiding (ARG)

Een pijplijnstelsel van meer dan 500 kilometer lengte verbindt ongeveer 18 miljoen ton productiecapaciteit op basis van ethyleen. Bron: ARG

de chemie. In twee tot drie jaar kan zo'n fabriek er staan en kunnen we ook duurzame import van biomassa organiseren.'



Soja oogst met behulp van combine. Na de oogst blijven restproducten, zoals stengels, achter op de akker.

het besparen van energie. Met biomassa zal niet alle behoefte aan energie en materialen vervuld kunnen worden, maar in een biobased economy speelt biomassa wel een centrale rol. De inzet van restanten van de oogst voor energie, transportbrandstoffen en materialen gaat hand in hand met de voedselproductie. Als in de landbouw meer voedsel wordt geproduceerd, blijven ook driekwart meer restproducten over, zoals stengels en bladeren. Van bijvoorbeeld de 11 miljoen hectaren soja in Argentinië, gaat slechts een kwart van het gewas naar de markt. De rest die meestal achterblijft op het veld ligt daar vaak te rotten en produceert daarbij broeikasgassen. Bij rijst komt zelfs slechts een kwart tot een derde van de totale biomassa in de korrels terecht. De rest wordt nu veelal verbrand. Wat wij afval noemen is niet

altijd afval. Mest bijvoorbeeld, kun je omzetten in kunstmest en daarbij kan de CO₂ worden afgevangen. In een biobased economy worden ook deze plantenresten gebruikt. Voor het benutten van de grote hoeveelheden reststoffen die nu beschikbaar zijn in de landbouw en de bosbouw hoeft geen nieuwe technologie te worden ontwikkeld. Er zijn geen grote innovaties nodig, want de meeste processen en technieken voor de omzetting daarvan zijn al bekend.

Verschillende rollen

Wel nodig is een voortdurende aandacht voor de verschillende rollen die de diverse partijen spelen in het debat en bij de concrete toepassing van biomassa. Landen die in biomassa een manier zien om broeikasgassen te verminderen en de duurzaamheid te vergroten, zullen de nadruk leggen op duurzaamheidsindicatoren bij de toepassing van biograndstoffen. Vinden landen het vooral belangrijk om onafhankelijker te worden van fossiele brandstoffen, dan zou de omschakeling naar biobrandstoffen wel eens meer uitstoot van broeikasgassen kunnen betekenen. De met steenkool gestookte bio-ethanolproductie in de Verenigde Staten is daarvan een voorbeeld. Andere landen zien in de toepassing van biograndstoffen een mogelijkheid om hun plattelandseconomie op te krikken via kleinschalige lokale productie-eenheden of ruiken kansen voor het stimuleren van industriële activiteiten, zoals de productie van biodiesel in Nederland. Ook is er niet maar één technologische weg, gebaseerd op de grootschalige toepassing van biomassa voor de productie van biobrandstoffen en biograndstoffen, die leidt naar het walhalla van de biobased economie. Diverse technologieën kunnen naast elkaar tot het gewenste doel leiden: zowel de thermische als de niet-thermische omzetting van biomassa in de gewenste producten. Zowel de inzet van oliepalmen en suikerriet als olifantsgras en bermgras als

bronnen voor biomassa. Zowel de toepassing van biograndstoffen als bijmenging in petrochemische raffinage en traditionele chemische processen als toepassingen die volledig op de aard van de biomassa zijn toegesneden.

Weerstand overwinnen

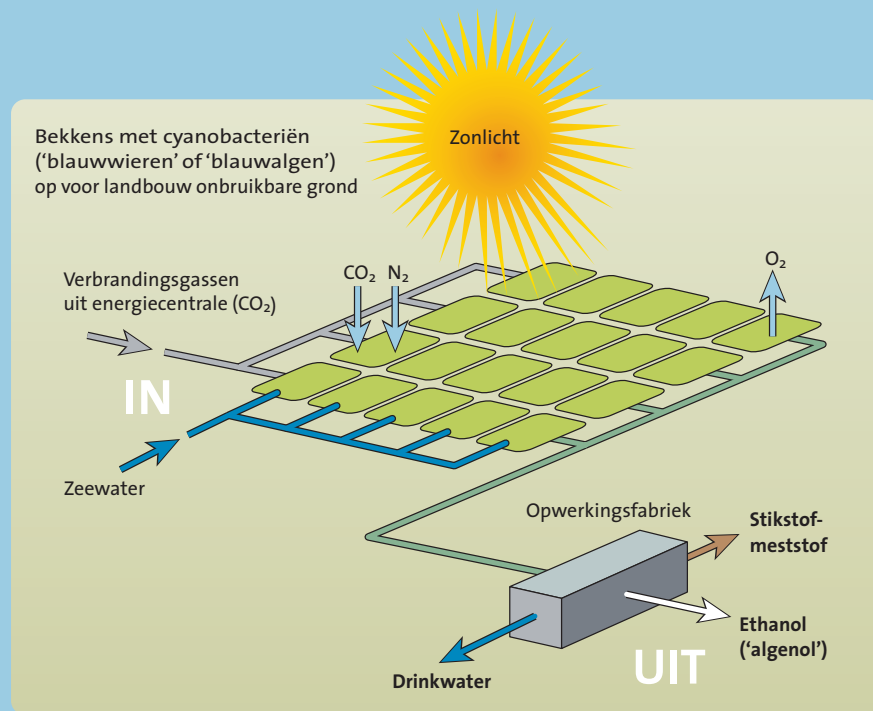
Aanpassingen van bestaande technieken zullen nodig blijken. Als voorbeeld daarvan is de vraag of

de producten die nu via de petrochemische industrie worden gemaakt ook vanuit biomassa kunnen worden gemaakt. Plastics bijvoorbeeld. Daarbij zijn katalysatoren die de afbraak van stoffen of de omzetting van het ene molecuul in het andere bevorderen, belangrijk. De katalysatoren die in de petrochemische industrie worden gebruikt zijn niet geschikt voor de omzetting van biomassa. De omzettingen van aardolie geschiedt in een niet-

Micro-algen voor veevoer op kippenmest

Het Platform Groene Grondstoffen, ondersteunt initiatieven voor het gebruik van biomassa voor duurzame biograndstoffen. Het platform onderzoekt ondermeer de mogelijkheden in Nederland een demonstratieproject met 10 hectare micro-algen te realiseren. Voorzitter Ton Runneboom: 'Micro-algen hebben de grootste groeipotentie per hectare. Die algen moet je vervolgens zien in te zetten voor de meest hoogwaardige toepassing. Uit algen kunnen hoogwaardige eiwitten worden gewonnen en het zou zonde zijn die te verbranden voor energie. Een algenvijver levert 20 tot 25 ton eiwit per hectare. Daarvoor hoeft je 5 hectare minder

soja aan te planten. De business case, waarmee we nu bezig zijn, gebruikt de restwarmte en de CO₂ van een elektriciteitscentrale voor de algenteelt. De algen binden de CO₂ tot biomassa, waarbij zuurstof vrij komt die weer in de centrale kan worden ingezet. Met de restwarmte van de centrale wordt de algensoep ingedikt zodat deze aan kippen of mosselen kan worden gevoerd. De kippenmest gaat vervolgens weer naar de algen terug. In plaats van kippenvoer kunnen ook specifieke eiwitten worden gemaakt die bijvoorbeeld geschikt zijn voor het opgroeien van biggen en soms wel 600 euro per ton kosten. De gebruikte algensoort kan worden afgestemd



Het productieproces van algenol onder invloed van zonlicht

op het gewenste type eiwit. Op deze wijze zou het terugvangen van 1 miljard ton CO₂

2,5 miljard euro per jaar kunnen opleveren als je de algen dus omzet in vlees. Samen met Energy

Valley installeren we zo'n systeem op tien hectaren in de Eemshaven.'



waterige omgeving van koolwaterstoffen, terwijl die van biomassa meestal in een waterrijk en zuur milieu plaats hebben. Voor een volledige *biobased economy* zijn in elk geval nieuwe reactorconcepten en nieuwe katalysatoren noodzakelijk.

Als je exact dezelfde producten weet te maken

die de industrie nu gebruikt, kan de overgang van fossiele grondstoffen naar biograndstoffen redelijk gemakkelijk gaan. Zijn de producten echter net even anders en moeten bedrijven hun processen aanpassen, dan wordt het een stuk lastiger. Zulke aanpassingen roepen weerstand op. De meest

Groene loodvervangers

In Delfzijl staat een fabriek die jaarlijks 200.000 ton methanol uit biomassa zal gaan produceren. Daar komt nu een tweede van 200.000 ton bij die draait op de tweede generatie biomassa en dus niet afkomstig is van voedingsgewassen. De bronnen zijn afval van de voedingsindustrie en uit de klikobak

en glycerol dat overblijft bij de productie van biodiesel. BioMCN heeft, door gebruik te maken van oude traditionele methanol fabrieken in de Eemshaven, de mogelijkheid tot een productie van 800.000 ton biomethanol per jaar. Daarmee kan twee procent van alle benzine in Nederland worden vervangen door

methanol. In feite kan zo de MTBE, die nu al voor twee procent als loodvervanger in benzine zit, volledig worden vervangen door een identiek biobroertje. In Duitsland kent men ook de Schwarze Pumpe: daar wordt 400.000 ton methanol uit hout gewonnen. Die dient ook als basis voor productie in de chemie.



De fabriek van BioMCN, ChemiePark Delfzijl

krachtige stimulans ontstaat als betrokken partijen er economisch voordeel mee kunnen behalen; de laatste P van de 3Ps *People, Planet, Profit*. Twee andere sterke stimulerende krachten liggen in het beleid van de overheden en in het gedrag van consumenten. Een belangrijke voorwaarde voor een optimaal gebruik van de mogelijkheden van biomassa vereist actie die zich niet alleen afspeelt binnen het technische en het private domein, zoals de industrie en het bedrijfsleven. Voor een echte transitie is ook een open debat nodig in de publieke arena van de (internationale) politiek en die van de publieke opinie.

Geen wegen afsluiten

‘Met kleine stapjes wordt langzamerhand het een en ander bereikt’, zegt Johan Sanders, hoogleraar aan de Wageningen UR. ‘Transities kennen een leercurve. Daarvoor zijn kleinschalige projecten, kleine fabriekjes, nodig, waarmee je in feite een tijdje *onder de radar* blijft. Dan heb je niet teveel last van tegenkrachten. Van daaruit kun je medestanders organiseren en tegenstanders overtuigen.’ Zoals NGO’s op het terrein van natuur en ontwikkeling die geïnteresseerd raken als ze bijvoorbeeld zien dat de Nederlandse import van soja kan worden beperkt, doordat bij de productie van biogas uit gras of maïs ook grote hoeveelheden eiwitten kunnen worden gewonnen. ‘Er wordt vaak erg zwart-wit gedacht, terwijl het om complexe processen gaat, waarin de details het verschil kunnen bepalen tussen duurzaam en niet-duurzaam, tussen succes en mislukking.’ Voor transities is het ook belangrijk geen wegen van te voren af te sluiten en bijvoorbeeld de industrie de kans te geven eigen initiatieven te ontwikkelen binnen de randvoorwaarden van het beleid. Gaat het om het stimuleren van de toepassing van biomassa voor energie, transportbrandstoffen en chemicaliën, dan moet iedereen gelijk behandeld worden om tot dat beleidsdoel te komen. ‘Dat gebeurt nu niet’,



constateert Sanders. ‘De ontwikkeling van hoogwaardige toepassingen wordt nu afgeremd doordat laagwaardige toepassingen worden gestimuleerd. Bijvoorbeeld door het geven van subsidie op het verbranden van lignocellulose in elektriciteitscentrales of door op sommige toepassingen, zoals de productie van ethanol en biodiesel, accijns te heffen. Daardoor worden innovaties voor de tweede generatie biobrandstoffen door de overheid eerder afgeremd dan gestimuleerd. Geen gelijke spelregels voor iedereen komt een goede transitie niet ten goede.’

De senaatscommissie voor Milieu en Openbare Werken debatteert over klimaatwetten. Washington, oktober 2009

Van cradle to gate

DE NEDERLANDSE multinational DSM maakt een voorzichtige omslag door van petrochemische grondstoffen naar biograndstoffen. Gestuurd door de wereld om haar heen, zeggen Marcel Wubbolts, programmamanager, en Volkert Claassen, vice president, van DSM White Biotechnology BV.

Volkert Claassen: 'Er is binnen DSM een hoop gebeurd op het terrein van de *biobased* chemie. *Ecopax* bijvoorbeeld is een nieuwe vorm van plastic die gedeeltelijk *biobased* is. Het is een soort nylon (diaminobutaan en sebazinezuur) met korte en lange moleculen die is gemaakt uit castorolie (ricine-olie). Die is CO₂-neutraal geproduceerd. Die ontwikkeling heeft zich heel snel voltrokken. Diaminobutaan kan in de toekomst ook uit hernieuwbare grondstoffen worden gemaakt. Er is een enorme vraag naar dit soort duurzame producten. Toyota heeft bijvoorbeeld bi doelstellingen voor het gebruik van kunststof, Proctore-Gamble komt met pampers op basis van biobased materialen die super absorberen en WallMart met biobased verpakkingen. Dit is een enorm issue.'

Marcel Wubbolts: 'Deze technologie is bruikbaar voor veel bouwstenen, zoals voor polyester en polyamiden. Dizuren, diamides, diolen, die kunnen allemaal duurzame producten worden.' Volkert Claassen: 'Dit kan niet zonder een omslag in denken. Voor ons als chemisch bedrijf is de

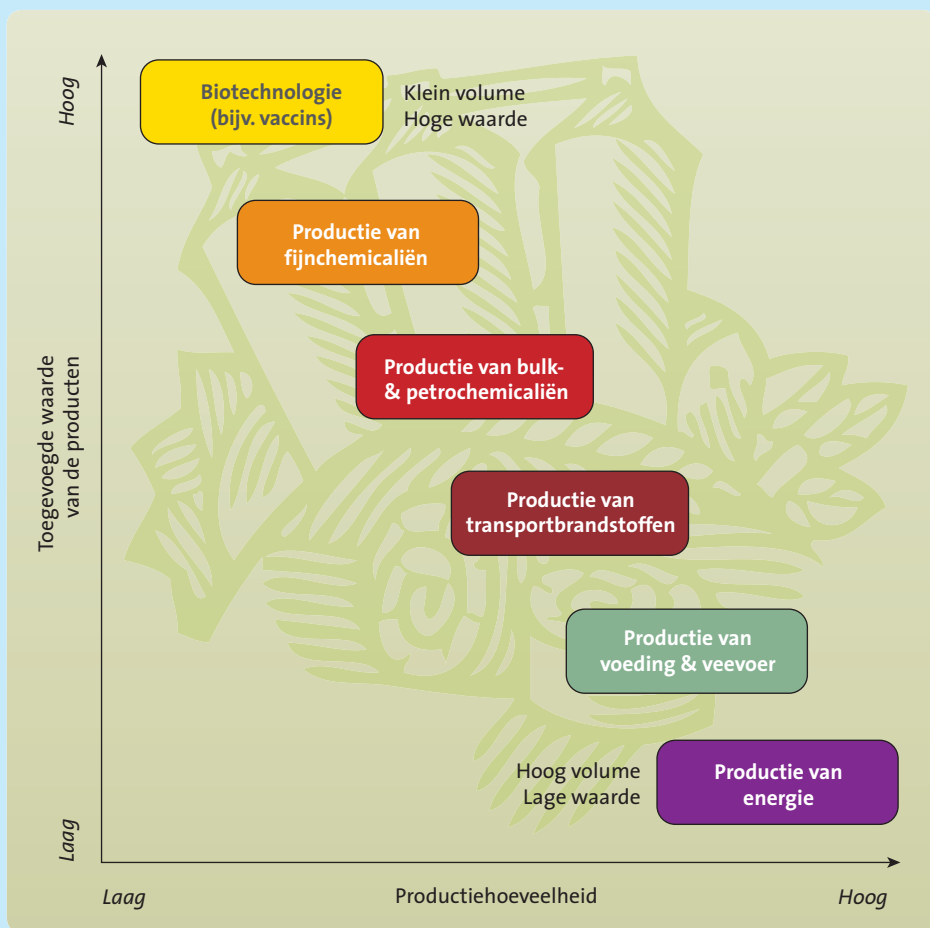
samenwerking met de landbouwsector nieuw. Daarnaast is er een enorme technologie-ontwikkeling binnen kleine bedrijven waarvan wij gebruik kunnen maken. We moeten goed in de gaten houden wat er in de wereld gebeurt en niet alles zelf doen.'

Marcel Wubbolts: 'In onze huidige cultuur zitten de lange termijn en de ecobalans al ingebakken. Wij gebruiken *Life Cycle Analysis* om vast te stellen of wat we willen, duurzamer is dan wat we nu doen. 60 Procent van onze producten zijn in 2009 van *cradle to gate*, van de wieg tot de poort, geëvalueerd en nieuwe producten worden zo mogelijk van *cradle to grave*, van wieg tot graf, geëvalueerd.'

Volkert Claassen: 'We kijken niet alleen naar de toepassing van biograndstoffen, ook naar een scala van *opportunities* en kiezen vervolgens wat de beste opties zijn. De chemische industrie zal niet volledig op biomassa kunnen draaien. Zelfs als biomassa enorm succesvol blijkt, blijven er ook andere bronnen nodig. Als het heel goed gaat, zullen we misschien maximaal twintig procent van de chemisch geproduceerde producten via biograndstoffen gaan maken. Dat is ook afhankelijk van de olieprijs en de milieupolitiek. Dit is echt een hoogst riskante sector voor DSM. Wij zijn zeer afhankelijk van de politiek en de wereld om ons heen.'



Luiers kunnen in de toekomst op basis van biograndstoffen worden geproduceerd



Relatie tussen volume (productiehoeveelheid) en toegevoegde waarde van een groene-grondstof-feneconomie. De grafiek geldt uiteraard ook voor de huidige fossiele productieketen op basis van aardgas, steenkool en aardolie.

Begrippenlijst

Biobrandstoffen

Verzamelnaam voor verschillende soorten brandstoffen, gemaakt uit biomassa (onder andere planten), zoals de (transport)brandstoffen biodiesel en bio-ethanol.

Biogas

Gas (methaan) dat ontstaat door de vergisting van biomassa (vergelijkbaar met moerasgas).

Biograndstoffen

Verzamelnaam voor verschillende soorten stoffen, gemaakt uit biomassa zoals planten, waaronder biobrandstoffen en biomaterialen.

Biomassa

Organisch materiaal van planten en dieren.

Bioraffinage

In verschillende fracties scheiden en opwerken van biomassa.

Biosyngas

Synthesegas (CO en H_2) ontstaat door de vergassing van biomassa boven 900°C .

Cellulose, hemicellulose

Stevige polymeren van glucose en andere suikermoleculen die planten hun structuur geven.

Duurzaamheid

Verwijst naar *sustainable development* van de VN-commissie Brundtland. Een duurzame ontwikkeling sluit aan op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.

Eerste, tweede generatie biomassa

Eerste generatie biomassa bestaat uit biomassa die ook als voedsel kan dienen (zoals granen, zaden, knollen, wortels en vruchten), tweede generatie biomassa zijn de niet eetbare delen van de plant (stengels, bladeren, kaf).

Fermentatie

Het door micro-organismen (bacteriën, gisten en schimmels) omzetten van biomassa in andere moleculen.

Fossiele grondstoffen/fossiele brandstoffen

Steenkool, aardolie en aardgas die zijn ontstaan door omzetting van restanten van organisch materiaal (vooral bomen en andere planten) gedurende miljoenen jaren.

Genetische modificatie

Langs biotechnologische weg genetisch veranderen van planten, dieren en micro-organismen zodat ze andere, gewenste, eigenschappen krijgen.

Joule

Eenheid van energie, vergelijkbaar met de energie die vrijkomt als een appel van 100 gram van één meter hoogte valt.

Lignine, lignocellulose

Moeilijk afbreekbare polymeren die cellulose en hemicellulose aan elkaar verbinden en verantwoordelijk is voor de houtige structuur van planten.

Geraadpleegde deskundigen

Pyrolyse

Droge destillatie, verhitten tot 500 °C zonder zuurstof. Daarbij ontstaat onder andere pyrolyse-olie, een soort vloeibaar hout, die lijkt op aardolie.

Torrefactie

Milde vorm van pyrolyse bij 200 tot 300 °C. Water en vluchtige bestanddelen verdampen en er ontstaat bio-kool.

Transitie

Grootschalige verandering in de samenleving, zoals de overgang van het gebruik van kolen naar olie en gas en van fossiele brandstoffen naar biobrandstoffen.

Transitie

Grootschalige verandering in de samenleving, zoals de overgang van het gebruik van kolen naar olie en gas en van fossiele brandstoffen naar biobrandstoffen.

Dit cahier is samengesteld door:

Prof. dr. Johan Sanders, hoogleraar Valorisatie van plantaardige productieketens, Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Prof. dr. ir. Erik Heeres, hoogleraar Chemische Technologie, onderzoeksgroep Green Chemical Reaction Engineering, Universiteit Groningen
Friso van Oranje, M.Sc, MBA, directeur Wolfensohn & Company

Maarten Evenblij, freelance wetenschaps-journalist, Amsterdam (eindredacteur)

Daarbij zijn de volgende deskundigen geraadpleegd:

Dr. ir. Robert Bakker, agrotechnoloog, Biobased Products, projectleider geavanceerde biobrandstoffen, Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Dr. ir. Prem Bindraban, tropische plantenteelt, directeur ISRIC – International Soil Reference and Information Centre, Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Dr. Volkert Claassen, vice president DSM White Biotechnology BV

Prof. dr. André Faaij, hoogleraar Energy System Analysis, Research Cluster 'Energy Supply & System Studies', Universiteit Utrecht

Prof. dr. ir. Louise Fresco, universiteitshoogleraar Grondslagen van duurzame ontwikkeling in internationaal perspectief, Universiteit van Amsterdam

- Ir. Paul Hamm, investeerder duurzame projecten, lid dagelijks bestuur VNCI, lid high level stuurgroep Bio Based Economy en ex-voorzitter het Platform Groene Grondstoffen en ex-lid regieorgaan energietransitie
- Dr. Marieke Harteveld, tropisch ecooloog, adviseur Agentschap NL (voorheen: SenterNovem) en secretaris Platform Groene Grondstoffen
- Dr. Andries Koops, manager business unit Bioscience, Plant Research International, Wageningen Universiteit en Researchcentrum
- Ir. Kees Kwant, senior Programma Adviseur, Agentschap NL (voorheen: SenterNovem)
- Dr. ir. Ad de Laat, directeur Cosun Food Technology Centre, Cosun (o.a. SuikerUnie, Aviko)
- Ir. Hans Langeveld, tropisch landbouwkundige, directeur Biomass Research, Wageningen
- Ir. Marieke Meeusen, econoom, Consument en Gedrag, LEI, Wageningen Universiteit en Researchcentrum
- Ing. Gerhard Muggen, algemeen directeur BTG bioliquids, Enschede
- Dr. Hans van Meijl, econoom, hoofd internationaal beleid, LEI, Wageningen Universiteit en Researchcentrum
- Ir. Robin Post van der Burg, chemisch technoloog, directeur business development Topell Energy, Den Haag
- Prof. dr. Jack Pronk, hoogleraar Industriële Microbiologie, wetenschappelijk directeur Kluyver Centre for Genomics of Industrial Fermentation, TU Delft
- Ing. Ton Runneboom, chemisch ingenieur, voorzitter Platform Groene Grondstoffen
- Dr. ir. Jacqueline Vel, sociaal-juridisch wetenschapper, Van Vollenhoven Instituut voor Recht, Bestuur en Ontwikkeling, Universiteit Leiden
- Drs. Paul de Wild, analytisch- en fysisch chemicus, senior scientist Transportbrandstoffen en Chemicaliën, ECN Petten
- Willem Wiskerke, MSc, beleidsmedewerker Biomassa, Stichting Natuur en Milieu, Utrecht
- Dr. Marcel Wubbolts programmamanager DSM White Biotechnology BV
- Prof. dr. ir. René Wijffels, hoogleraar Bioprocessetechnologie, Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Meer informatie

www.vrom.nl/pagina.html?id=20929

Biobrandstoffenpagina van het ministerie van VROM.

www.platformbioenergie.nl

In Platform Bio-energie werken groene energiebedrijven samen.

www.senternovem.nl/energietransitiegg

Website van het Platform Groene Grondstoffen over transitie naar een biobased economie. Onder documentatie ook een pdf van het Groenboek Energie Transitie met uitgebreide uiteenzetting over groene grondstoffen en technieken.

www.refuel.eu

Website van het Europese *biofuel* onderzoeksproject.

www.biorefinery.nl

Informatiesite van Wageningen UR en ECN in Petten over bioraffinage.

www.themabiobasedeconomy.wur.nl

Website van de Wageningen UR over een *bio-based* economie.

www.energietransitie.nl

Een site van Senternovem met veel informatie over veranderingen in energiegebruik.

www.snm.nl

Stichting Natuur & Milieu over biomassa. Klik op thema's en vervolgens op Klimaat & Energie en Biomassa.

www.milieucentraal.nl

Website van MilieuCentraal, zoek op biobrandstof voor rijden op biobrandstof.

www.ecn.nl

Energiecentrum Petten geeft technische informatie over biomassa.

www.rug.nl/Corporate/nieuws/adamsAppel/archief2007/afl20

Filmpje van de Universiteit Groningen over onderzoek van jatropha.

Illustratieverantwoording

Foto omslag: Shutterstock

iStockphoto.com: p. 2, 15 rb, 19, 20, 21 rb, 21 lo, 25,
30, 42, 43, 63, 73

Shutterstock Images: p. 4, 6, 7 o, 8, 9, 11 l, 11 r, 14, 15
lb, 40, 47 l, 54, 76, 82

Theo Pasveer BNO Cartographics, Deventer: p. 7 b,
17, 31, 32, 55, 61, 68, 77

NASA: p. 10

Dreamstime: p. 12, 27, 62, 78

Crustell B.V., Alphen aan den Rijn: p. 15 lm

Agrarische Dienst Suiker Unie: p. 15 rm, 22, 23

Christian Tragni / Hollandse Hoogte, Amsterdam:
p. 16

Reprinted, with permission, from www.diligent.nl
(copyright 2004- 2010 Diligent Energy Systems BV): p. 18, 39

Agencia Brasil / Wikimedia Commons: p. 24, 56

Fred Hoogervorst / Hollandse Hoogte, Amsterdam:
p. 26

Fotolia: p. 28, 46, 58

Frank Greiner / B en U, Diemen: p. 35, 66

Defense Visual Information Center / www.dodmedia.osd.mil: p. 36

Hollandse Hoogte, Amsterdam: p. 37

Roel Burgler / B en U, Diemen: p. 38

Jos van den Broek, Leiden: p. 44, 50-51, 52, 79, 83

Gerhard Muggen / www.btg-btl.com: p. 45

CDC / Dr. Lucille K. Georg (PHIL #3964), 1955: p.
47 r

Visual Photo Design / B en U, Diemen: p. 53

El Universal / Hollandse Hoogte, Amsterdam: p. 60

Kemal Jufri / The New York Times / Hollandse
Hoogte, Amsterdam: p. 64

Mediacolors / B en U, Diemen: p. 65

Hans Straub / B en U, Diemen: p. 69

Henk van der Leeden / B en U, Diemen: p. 71

Pauline Wesselink / B en U, Diemen: p. 72

AkzoNobel, Delfzijl: p. 74

DELTA Biovalue Nederland BV: p. 80 b

Pitt Fotografie i.o.v. BioMCN, Delfzijl: p. 80 o

Jay Mallin / Zuma Press / Hollandse Hoogte,
Amsterdam: p. 81

In dit nummer:

- > **Het kraken van suikerriet**
- > **Afval bestaat niet**
- > **Vliegen op algen**
- > **Olie voor de armen**
- > **Plastic uit mest**
- > **Het witte goud**

Redactie:

Johan Sanders, Erik Heeres,
Friso van Oranje,
Maarten Evenblij (eindredactie)

Met een voorwoord van
de voorzitter van Platform Groene
Grondstoffen, Paul Hamm

**Bio-Wetenschappen
en Maatschappij**

De moderne economie stort in zonder energie. Deze halen we voornamelijk uit aardolie, steenkool en gas – de fossiele brandstoffen. Die raken op, zijn niet duurzaam en versterken het broeikas-effect. Alternatieve energiebronnen, zoals zonnecellen en windmolens, kunnen niet alle behoefte aan energie en materialen opvangen. Er zijn dus nog andere alternatieven nodig.

Biomassa is zo'n alternatief. Er is een oneindige voorraad planten dankzij de straling van de zon. Er zijn op aarde voldoende grond en biologische afvalstromen beschikbaar om een groot deel van de wereldbehoefte aan energie te vervullen en zo te komen tot een *biobased economy*.

Dit cahier Biograndstoffen beschrijft de mogelijkheden en technieken om biomassa te verkrijgen en om te zetten in bruikbare en commercieel toepasbare biograndstoffen. Het cahier besteedt ook aandacht aan de belemmeringen voor een dergelijke groene economie. Een duurzame productie van biomassa en biobrandstoffen op grote schaal vereist goede voorwaarden, zodat de omstandigheden van mensen in arme landen en het milieu niet verslechteren, maar juist verbeteren.

Met die gedachte en gezien de ontwikkelingen in de technologie, is de redactie van het cahier Biograndstoffen voorzichtig optimistisch over de toekomst van een groene, mede op biomassa georiënteerde, economie.

